

**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

**Besprutning av fruktträd
– avsättning och lufthastigheter vid
olika karaktär på luftströmmen**

**Orchard spraying
– deposition and air velocities as affected
by air jet qualities**

Sven Axel Svensson

Institutionen för lantbruksteknik

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering**

**Rapport 149
Report**

Uppsala 1991

ISSN 0283-0086
ISRN SLU-LT-R--149--SE

DOKUMENTDATABLAD för rapportering till SLU:s lantbruksdatabas LANTDOK, Svensk lantbruksbibliografi och AGRIS (FAO:s lantbruksdatabas)

Institution/motsvarande Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för lantbruksteknik Avd för Park- och Trädgårdsteknik		Dokumenttyp Rapport	
		Utgivningsår 1991	Målgrupp Alla
Författare/upphov Sven Axel Svensson			
Dokumentets titel Besprutning av fruktträd - avsättning och lufthastigheter vid olika karaktär på luftströmmen			
Ämnesord (svenska och/eller engelska) Fruktsprutning, besprutning, fruktträd, fruktodling, fläktssprutor, växtskydd, utrustning, appliceringsteknik, sprutteknik, avsättning, lufthastighet, bladverk, luftström, anemometer, vindavdrift, tvärströmsfläkt, mätmetoder Orchard spraying, Air sprayer, fan sprayer, plant protection, equipment, air jet, deposition, application, application technology, air velocity, canopy, wind drift, cross flow fan, anemometer, measuring methods			
Projektnamn (endast SLU-projekt)			
Serie-/tidskriftstitel och volym/nr Sveriges lantbruksuniversitet Rapport 149 Inst f lantbruksteknik			ISBN ISSN 0283-0086
Språk Svenska	Sml-språk Engelska	Omläng 79 s	Antal ref. 70

ISRN SLU-LT-R--149-SE

Postadress
SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Utlunbiblioteket
Förvärvssektionen/LANTDOK
Box 7071
S-750 07 UPPSALA
Sweden

Besöksadress
Centrala Utluna 22
Uppsala

Telefonnummer
018-67 10 00 vx
018-67 10 98
018-67 10 97

Telefax
018-301006

Abstract

Apple trees were sprayed with air sprayers with two different cross flow fan arrangements, giving: 1) converging air jets 2) horizontal, parallel air jets. Deposition, measured on artificial targets with fluorescent dye, showed 50 % higher application values and a more uniform distribution pattern in the canopy when converging air jets were used. Maximum air velocities were measured in the same positions in the canopy and correlated with the deposition results. Losses, measured behind the trees, appeared lower down (beneath the tree top level) when converging fans were used.

Förord

Denna rapport behandlar sprutteknikens, främst luftriktningars, inverkan på appliceringen i samband med besprutning av fruktträd. Rapporten är en del av redovisningen av projektet: "Studier av interaktion mellan luftström och bladverk vid besprutning av fruktträd".

Projektet finansieras främst med medel från Skogs- och Jordbrukets Forskningsråd och SLU:s lantbruksvetenskapliga fakultet. Delar av projektet har även finansierats av Kungl Skogs- och Lantbruksakademien samt Styrelsen för Teknisk Utveckling.

Jag vill rikta ett varmt tack till min handledare, prof Kjell Svensson, som alltsedan projektstarten med intresse, råd och stöd har hjälpt mig att genomföra arbetet. Mina biträdande handledare, högskolelektor Jan Holst, Inst f Matematisk Statistik vid Lunds Tekniska Högskola, och prof Thomas Nybrandt, vid vår institution, har hjälpt mig att skymta strukturer, modeller och statistiska verktyg i det täta bladverket. Under hela arbetet har jag känt ett värmande stöd från institutionens ledning och personal. Jag vill tacka forskn ing Staffan Klensmeden, som försett mig med mätutrustning och program samt ifrågasatt mina idéer på ett välgörande sätt.

Ett särskilt tack riktar jag till mina kolleger på avdelningen som tillbringat sena och kalla kvällar i fruktodlingen med mig. Slutligen vill jag tacka Lindströms i Lomma AB och AB ABM Maskiner, som kostnadsfritt ställt fruktsprutor till förfogande.

Alnarp i februari 1991

Sven Axel Svensson

Sammanfattning

Sprutning med fläktspruta i fruktodling introducerades i Sverige under femtiotalet. Teknik och användningsprinciper har utvecklats successivt, men det är fortfarande den enda använda metoden. Trots en relativt god växtskyddseffekt, ger metoden upphov till tydliga nackdelar. Dessa kommer till uttryck i problem med vindavdrift och en ojämn avsättning av sprutvätska i trädet.

Denna rapport behandlar sprutteknikens, främst luftriktningarnas inverkan på appliceringen av sprutvätska i fruktträd.

En bas för arbetet finns i tidigare grundläggande forskningsresultat, där avsättningen av droppar i ett bladverk beskrivs på samma sätt som en aerodynamisk filtrering. Avsättningen ökar med ökande droppstorlek, ökande strömningshastighet och minskande storlek på det uppfångande objektet (bladet). Inspiration till de praktiska experimenten utgörs av resultat från utländska experiment, där man erhållit en hög och jämnt fördelad applicering av sprutvätska i trädet när flera luftutlopp har riktats mot trädets centrum (konvergerande luftströmmar), jämfört med traditionell teknik med ett lågt placerat luftutlopp (divergerande luftströmmar). Några tidigare undersökningar för att vetenskapligt klarlägga bakgrunden till dessa resultat har ej kunnat spåras. En hypotes är att man med luftströmmarnas ändrade riktning realiserar en strävan att öka lufthastigheten i den borte delen av trädet, för att därigenom öka avsättningen där.

Målet med arbetet är att genom praktiska mätningar söka de bakomliggande förklaringarna till de nämnda praktiska resultaten. Denna rapport omfattar mätningar av appliceringen och lufthastigheter samt en inledning till ett klarläggande av de inverkan parametrarna.

Experimenten visar att om två luftströmmar från långa, smala spaltformiga utlopp (tvärströmsfläktar) konvergerar in mot trädradens centrum eller just bakom, blir appliceringen i trädet större (ca 50 % högre) och jämnare, än om appliceringen sker med parallella, horisontella luftströmmar. Med konvergerande luftströmmar synes den uppkomna vindavdriften ha sitt maximum under trädtoppsnivå, medan den för parallella luftströmmar ligger högre än denna nivå. Även om studien ej är fullständig med avseende på lufthastighetsmätningar inne i trädet, syns en ökad lufthastighet i trädets mitt för konvergerande luftströmmar samt en överensstämmelse mellan applicering och lufthastighet, mätt i samma punkter i trädet.

Fortsatt forskning föreslås ske efter tre linjer: studier av ändrade tekniska sprutparametrars inverkan på resultatet (tillämpning i praktisk odling), djupare studier av filtreringens verkan inne i bladverket samt slutligen, studier av hur trädets och luftströmmarnas egenskaper i en större skala påverkar sprutduschens inträngning i bladverket och de uppkomna förlusterna.

Summary

Orchard spraying with fan sprayers was introduced in Sweden during the fifties. The technology and methods have been further developed since then, but the original basic principle is still the only one in use. In spite of the relatively high degree of plant protection, there are certain clear disadvantages with this method: problems with wind drift and an uneven distribution of chemicals within the tree canopy.

This report deals with how application technology, primarily the air jet directions, affects the way in which spray fluid is deposited in fruit trees.

The work is based on results from earlier fundamental studies, where the capture of drops in the canopy is described in the same way as the process for aerodynamic capture in filters. The quantity deposited increases with increasing drop size, increasing flow velocity and decreasing size of the catching object (the leaf).

Experiments abroad have shown that a high and uniform spray deposition is obtained when using several air outlets (converging air jets) aiming at the canopy centre, in comparison with traditional sprayers where one low-level outlet is used (diverging air jets). No earlier investigations that scientifically explain these results have been found. These conclusions have indicated the path to follow in practical experiments. One hypothesis is that by changing the direction of the air jets you realize the ambition of increasing the air velocities in the more distant parts of the canopy, thus increasing deposition in these parts.

The aim of the work is to try to explain, by carrying out practical experiments, the underlying causes behind the results obtained in those earlier experiments mentioned above. This report includes the measurements of deposition and air velocities and also introduces a discussion about the parameters that affect the process.

The results show that the use of two air jets from long, columnar outlets (cross flow fans) converging into the centre of the tree row, or just behind, not only leads to a more uniform application but also increases deposition by about 50 %, compared to when parallel horizontal air jets are used. When converging air jets are used, wind drift seems to occur mostly just below tree top level, while for parallel air jets wind drift occurs mostly higher up.

Even though the study is not completed with respect to the air velocity measurements, it is clearly seen that with converging fans, air velocities are higher in the centre of the tree and that there is a correspondence between deposition and air velocity measured at the same positions within the tree.

It is suggested that future research should follow three lines: studies of the effect of changed technical parameters for this type of sprayer, more profound studies of the filter effects inside the canopy and finally, further studies of how the properties of the tree and air jets, as a whole, affect the spray penetration into the canopy and the resulting losses.

Innehållsförteckning

1 Bakgrund	1
2 Litteraturstudie	3
2.1 Grundläggande samband	3
2.2 Droppstorlek	7
2.3 Objekt	10
2.4 Luftström	14
2.5 Fläktar	18
2.6 Samspel	21
3 Teoretiska modeller	23
3.1 Utvidgad grundmodell	23
3.2 Bladverket som ett filter	24
3.3 Åtgärder för att påverka avsättningen	26
4 Projektets mål och hypoteser	28
5 Experiment	30
5.1 Inledning	30
5.2 Omfattning av experimenten	31
5.3 Val av förutsättningar	31
5.3.1 Träden	31
5.3.2 Sprutteknik	34
5.3.3 Klimat	40
5.4 Metod för appliceringsmätning	41
5.4.1 Val av indikator	41
5.4.2 Val av mätobjekt	42
5.4.3 Placering av mätobjekt	43
5.4.4 Insamling av mätobjekt	44
5.4.5 Utvärdering	45
5.4.6 Felkällor	45
5.4.7 Sammanfattning	47
5.5 Metod för lufthastighetsmätning	49
5.5.1 Val av givare	50
5.5.2 Placering av givare	51
5.5.3 Utvärdering	52
5.5.4 Felkällor	53
5.5.5 Sammanställning av metoder för lufthastighetsmätning	54
5.6 Resultat av appliceringsmätningarna	55
5.6.1 Sprutornas vätskefördelning	55
5.6.2 Mätning bakom träd	56
5.6.3 Mätning i träd	57
5.6.4 Sammanfattning av appliceringsmätningarnas resultat	64
5.7 Resultat av lufthastighetsmätningarna	64
5.7.1 Fläktarnas lufthastighetsfördelning	64
5.7.2 Mätning i träd	65
5.7.3 Mätning bakom träd	67
5.7.4 Sammanfattning av lufthastighetsmätningarnas resultat	68
6 Diskussion	69
6.1 Den praktiska tillämpningen	69
6.2 Teoridiskussion	70
7 Forskningsperspektiv	73
8 Litteraturreferenser	75

1 Bakgrund

Tekniken bakom det kemiska växtskyddet syftar till att placera en given mängd preparat på den avsedda målytan med så små förluster som möjligt och med en jämn fördelning. Därigenom erhålles största biologiska effekt med minsta möjliga preparatmängd, minsta möjliga bärvätska samt dessutom med den minsta belastningen på miljön. Den bekämpningsform som har den högsta kravtröskeln ur fördelningssynpunkt är sprutning med kontaktverkande fungicider. Eftersom dessa preparat inte tränger in i plantan och verkar systemiskt, måste de kunna placeras på de olika ställen där respektive svampsjukdom uppträder. Den tredimensionella utbredningen hos träd och buskar gör det emellertid svårt att uppnå det önskade resultatet.

Sprutning med fläktspruta började att införas under femtiotalet i Sverige. För bekämpning av skadedjur och svampsjukdomar i fruktodling är det fortfarande den enda metod som används. Den principiella funktionen är att sprutduschen genereras i en stark luftström, som för bekämpningsmedlet till målet, dvs fruktträdet. Luftströmmens energi skapar rörelse i bladverk och grenar, varigenom större ytor exponeras, framför allt bladens undersidor, som annars är svåra att täcka. Erfarenheten har visat att metoden ger relativt god växtskyddseffekt med de kemikaliedoser och den utrustning som används idag, men den har dock uppenbara nackdelar.

Luftström och bladverk påverkar varandra inbördes, samtidigt som fruktträden utgör ett komplext och oregelbundet mål. Det förändras dessutom från att på våren vara glest, till att med sommarbladverket bli tätt och svårgenomträngligt. För att få tillräcklig täckning i de svårast åtkomliga delarna kan man med dagens utrustning erhålla doser i andra delar av trädet som är 3 - 4 ggr högre. Det förekommer även uppgifter om lokala överdoser på upp till 8 ggr (Hall et al, 1975b).

Förlusterna på grund av vindavdrift och spill uppgår till mellan en tredjedel och två tredjedelar, beroende på de yttre förhållandena. Vindavdriften medför också negativa arbetsmiljöeffekter, genom att man riskerar att köra in i sprutmolnet. För att undvika denna situation, väljer man oftast att spruta nattetid, då vindens inverkan i regel är mindre. Nattarbete medför emellertid generellt högre risker för olycksfall.

Den svenska fruktodlingen är lokaliserad till attraktiva rekreationsområden och nära tätbefolkade områden (exempel: Kivikstrakten, Kullabygden, Bjärehalvön, Kristianstadsområdet). Riskerna för miljöeffekter, genom t ex vindavdrift, bör få inflytande på valet av appliceringsteknik.

"Integrerad Fruktproduktion" (IFP), som är en odlingsmetod byggd på ekologiska och andra vetenskapligt prövade metoder för lönsam produktion av kvalitetsfrukt med minimal användning av kemiska bekämpningsmedel och gödsel, lanseras i stor skala i Europa, inklusive Sverige (Redalen, 1990). Ökad precision vid appliceringen av kemiska bekämpningsmedel och kunskap om appliceringsteknik är viktiga verktyg i genomförandet av dessa odlingsprinciper.

Kostnaderna för bekämpning av skadedjur och svampsjukdomar är betydande. Den viktigaste enskilda delposten är kemikaliekostnaden, som uppgår till ca 3 200 kr/ha. Den svenska fruktarealen omfattar ca 1 800 ha, varav äppleodling ca 1 500 ha (Trulsson, 1991). Detta innebär att det i svensk fruktodling årligen används bekämpningsmedel för nästan 6 milj kr. Uppskattningsvis hälften av detta hamnar aldrig på träden.

Det är således ur många synpunkter angeläget att intensifiera arbetet med att anvisa **metoder som minskar vindavdrift och spill, som ökar möjligheterna att få jämnare täckning med mindre kemikaliemängd och som slutligen medverkar till att bekämpningsarbetet kan ske utan verkliga eller upplevda risker**, varken för den som utför arbetet eller för de omkringboende.

Utvecklingen av dessa metoder måste baseras på en djupare kunskap om de fenomen av grundläggande karaktär, som uppträder i fruktträdens bladverk vid användning av fläkt-sprutning.

Den praktiska tillämpningen av dessa grunddata är bl a utveckling av effektivare bekämpningsutrustning, som reducerar de stora förlusterna. Det här presenterade arbetet är av grundläggande karaktär, varför betydelsen främst bör bedömas med hänsyn till angelägenheten och vinsterna av den praktiska tillämpningen, för vilka resultaten utgör grunden.

Sammanfattar man arbetets viktigaste tillämpningar, nämligen:

- * minskad miljöpåverkan på omvärlden,
- * förbättrad livsmedelskvalitet,
- * förbättring av arbetsmiljön och
- * minskning av odlarnas kemikaliekostnader,

står det klart att dessa är av stort gemensamt intresse för näringen och samhället. Det kan noteras att intresset för problemområdet har ökat under tiden som arbetet har pågått.

Målet med projektet är att studera sprutteknikens inverkan på appliceringen. Den största vikten läggs vid att klarlägga hur luftrörelser inverkar, speciellt då luftströmmarna riktar mot trädets centrum.

Den nu presenterade rapporten omfattar till största delen mätning av applicering och lufthastighet med olika tekniska förutsättningar. Vidare finns en presentation av grundläggande teorier som styr arbetsinriktningen samt de hypoteser som bildar utgångspunkten för experimenten.

2 Litteraturstudie

2.1 Grundläggande samband

I fläktsprutning tillsätts vätskedropparna i luftströmmen, som transporterar dem in i bladverket, där de avsätts. Man strävar efter att skapa sådana förhållanden att maximal mängd samlas upp på bladverkets olika delar. Den grundläggande teorin för förloppet är gemensam för sprutteknik och för t ex förloppet i tekniska filter inom industrin och finns beskriven i litteraturen (Strauss, 1975, Little, 1979, Nordby, 1979, Spillmann, 1979, Uk, 1979, May & Clifford, 1967, Metz, 1986, Dullien, 1989 m fl). Med tekniska filter avses "aerodynamisk filtrering", där man skapar sådana luft rörelser att de luftburna partiklarna avskiljes på speciella uppfångningsobjekt.

Avsättningen kan teoretiskt modelleras i enlighet med följande principer:

- * Tröghet
- * Infångning
- * Sedimentering
- * Diffusion

Modellförutsättningar återspeglar idealiserade antaganden. I den komplexa verkligheten samverkar samtliga principer.

Träff genom tröghet innebär att droppens massa och/eller hastighet är så stor att dess tröghet hindrar den att följa den omgivande gasens strömningslinjer, utan den kolliderar med föremålet. I den matematiska modellen för detta fenomen bortser man från droppens storlek (figur 1).

Vid träff genom infångning ansätter man att droppen saknar massa och endast har storlek, dvs den rör sig tröghetsfritt och följer gasens strömningslinjer (figur 1). Beroende på sin storlek kan den då komma så nära att den tangerar objektet och fastnar.

Sedimentering kan anses vara ett specialfall av de två föregående principerna. Med sedimentering avses avsättning, där droppens rörelse uppstår som ett resultat endast av gravitationskraften. Fallet är intressant, eftersom den hastighet som droppen slutligen uppnår i detta fall, är en karaktäristisk egenskap (V_s), som användes i modellen för träff genom tröghet.

Diffusion är ett sätt att beskriva avsättningen av partiklar som är så små att de påverkas av gasmolekylerna. Denna avsättningsprincip bortses från i detta sammanhang.

Matematiska modeller har utvecklats för avsättningsprinciperna och lösningar har erhållits genom empiriska experiment. De viktigaste sambanden redovisas nedan (efter främst Strauss, 1975, Spillman, 1979 samt May & Clifford, 1967):

Uppsamlingseffektivitet i tröghetsfallet:

$$E = \frac{N_I}{N_A}$$

Träffparametern i tröghetsfallet:

$$P = \frac{s}{D} = \frac{V_s V_0}{g D} \approx \frac{\rho_d d^2 V_0}{18 \mu D}$$

Stoppsträcka:

$$s = \frac{V_s V_0}{g}$$

Sedimenteringshastighet:

$$V_s = \frac{\rho_d g d^2}{18 \mu}$$

Uppsamlingseffektivitet i infångningsfallet kan även uttryckas som (cylinderformat föremål):

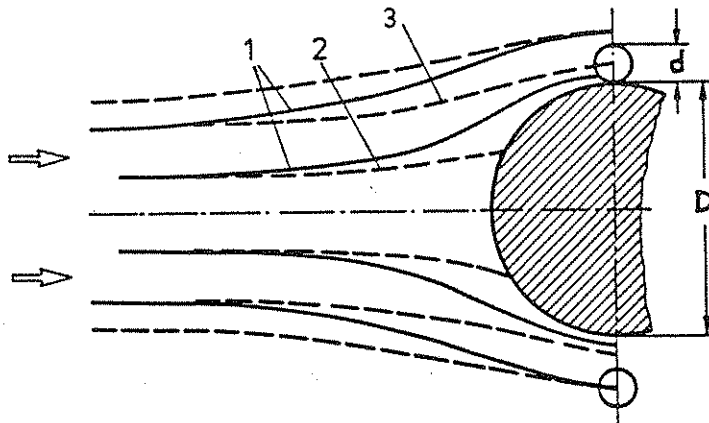
$$E = 1 + R - \frac{1}{1 + R}, \quad \text{där} \quad R = \frac{d}{D}$$

Beteckningar

E	Uppsamlingseffektivitet
N_I	Antal droppar per tidsenhet som träffar en kropp i flödet
N_A	Antal droppar i det ostörda flödet som per tidsenhet går genom en yta stor som kroppens projektion och placerad vinkelrätt mot flödesriktningen.
P	Träffparametern vid tröghet; den parameter som uppsamlingen beror på
s	Stoppsträcka, den sträcka droppen tillryggalägger innan den har uppnått den omgivande gasens hastighet
d	Droppens diameter
D	Föremålets storlek, bredd eller diameter
V_0	Droppens ursprungliga hastighet relativt den omgivande gasen
V_s	Sedimenteringshastighet, droppens slutliga hastighet vid fritt fall i stillastående luft
g	Gravitationskonstanten
ρ_d	Droppens densitet
μ	Gasens (luftens) dynamiska viskositet

Dessa samband har undersökts av olika forskare och för ett antal regelbundna kroppar kan man beräkna (eller har empiriska data på) uppfångningseffektiviteten. Sambanden

mellan uppsamlingseffektivitet för tröghet (E) och träffparametern (P) varierar med formen på föremålet, men uppvisar samma trend, som framgår av figur 2 (May & Clifford, 1967). Modellerna för träff genom tröghet och genom infångning är ej oberoende av varandra. Figur 3 visar exempel på kombination av sambanden.



Figur 1. Ett cylindriskt föremål placerat i en luftström med partiklar. Strömningslinjer för gasen och partikelbanor är markerade (efter Metz, 1986).

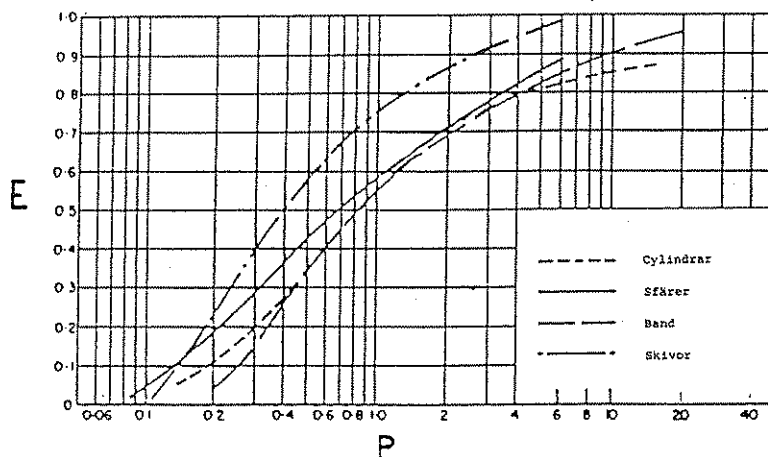
d : partikeldiameter

D : cylinderns diameter

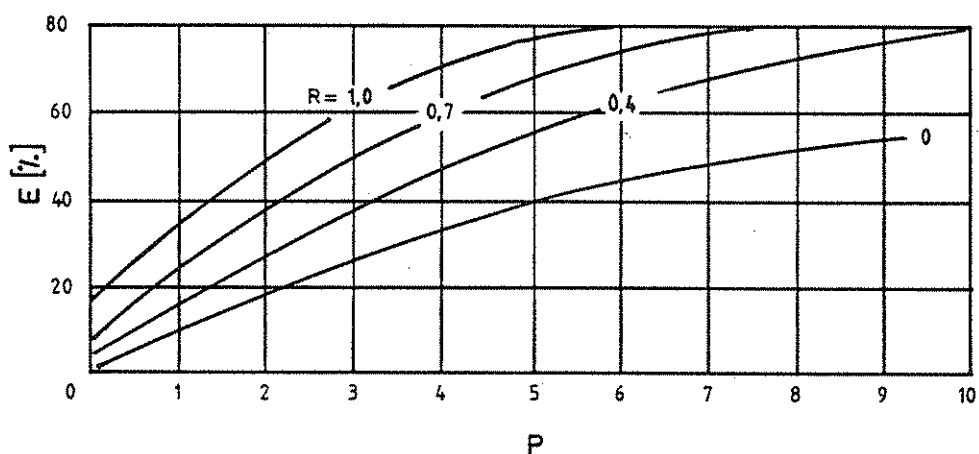
1: strömningslinjer för gasen

2: partikelbana vid träff genom tröghet

3: partikelbana vid träff genom infångning



Figur 2. Uppsamlingseffektivitet (E) som funktion av träffparametern (P) för objekt med olika form (May & Clifford, 1967).



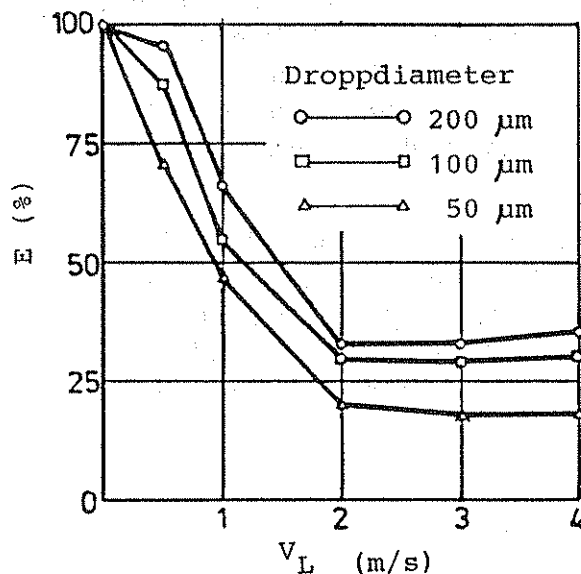
Figur 3. Beräknad uppsamlingseffektivitet (E) som funktion av träffparametern (P) för olika förhållanden mellan objektets och partiklarnas storlek ($R = d/D$; $Re = 0.2$). Diagrammet illustrerar kombinationseffektiviteten av träff genom tröghet och genom infångning (efter Strauss, 1975).

Av sambanden på föregående sidor framgår att sedimenteringshastigheten avtar snabbt med minskande droppstorlek (se tabell 1), eftersom den är proportionell mot kvadraten på droppens storlek. Stoppsträckan och träffparametern är i sin tur direkt proportionella mot bl a sedimenteringshastigheten, vilket innebär att ju mindre droppen är, desto lättare uppnår den omgivande gasens hastighet och följer strömningslinjerna runt föremålet.

Tabell 1. Sedimenteringshastighet för droppar av olika storlek (Metz, 1986).

Droppdiameter [μm]	10	25	50	100	150	200	500	1000
Sedimenteringshastighet [cm/s]	0.3	1.9	7.2	25	46	70	200	385

En annan masskraft som verkar på dropparna är tyngdkraften. Den ringa sedimenteringshastigheten är den viktigaste förklaringen till varför små droppar innebär risker ur avdriftssynpunkt. Metz (1986) har mätt appliceringen för olika droppstorlekar som funktion av lufthastigheten (figur 4). Utan luftström ($v = 0$) sedimenterar dropparna på grund av sin tyngdkraft på objektet. Med tilltagande, men fortfarande mycket låg lufthastighet, avtar uppsamlingseffektiviteten, eftersom dropparna börjar få en rörelse, som gör dem mer benägna att strömma runt objektet. Vid ytterligare ökande lufthastighet vänder processen och uppsamlingseffektiviteten stiger. Metz menar att vändpunkten inträffar tidigare, dvs vid lägre lufthastighet, för stora droppar och att för hastigheter över ca 4 m/s kan man förvänta en ökning av uppsamlingseffektiviteten.



Figur 4. Uppsamlings effektivitet (E) som funktion av lufthastigheten (V_L) för olika droppstorlekar (Metz, 1986).

Det finns även en möjlighet att skapa ytterligare krafter som medverkar till avsättningen, nämligen elektrostatiske krafter (se t ex Metz, 1986 och Matthews, 1989). Detta sker genom att dropparna ges en elektrisk laddning, motsatt trädets. Denna appliceringsprincip redovisas ej i denna rapport.

De viktigaste tre faktorerna som påverkar avsättningen är således droppstorlek, strömningshastighet och objektstorlek. Av redovisningen framgår att **sannolikheten för att en droppe skall avsättas på ett objekt ökar med ökande droppstorlek, minskande objektstorlek och ökande strömningshastighet.**

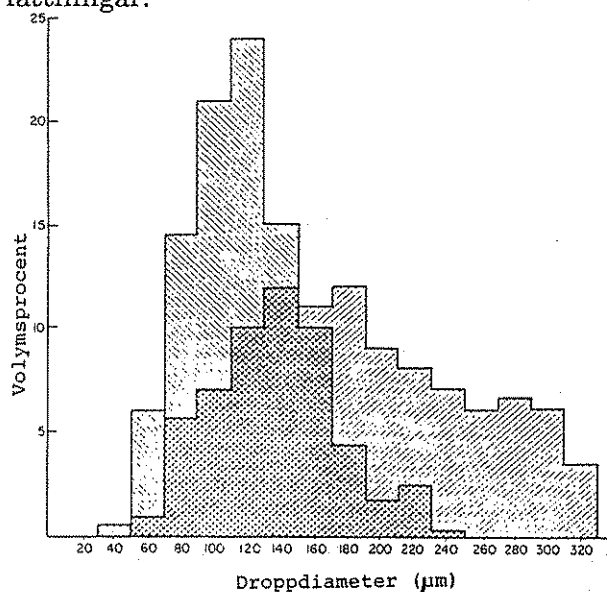
Den logiska följden av de samband som redovisats ovan skulle då bli att man vid besprutningen bör använda stora droppar och hög lufthastighet. Verklighetens bivillkor i form av ekonomi, maskinteknik och miljökrav innebär att detta inte är möjligt. God täckning med stora droppar medför stora vätskemängder, vilket är kostnadskrävande och i stället pågår en utveckling där man minskar vätskemängderna med bibehållen täckning genom att använda mindre droppar. Stora lufthastigheter medför effektkrävande fläktar, som inte får plats mellan trädraderna, samtidigt som risken för vindavdrift ökar med ökande lufthastighet. Därför söker man vid utveckling av maskiner och metoder att optimera besprutningssituationen. Dessa hänsyn ligger bakom den följande redovisningen, där faktorerna droppstorlek, objekt och lufthastighet kommer att behandlas närmare.

2.2 Droppstorlek

På fläktspirutor används normalt hydrauliska spridare (virvelkammare), i vissa fall med lufttillsats, samt roterande spridare. De är traditionellt placerade i luftutloppet, men det förekommer även placeringar utanför, då med spridarna riktade in i luftströmmen. Det

är svårt att ange ett "normalt" droppstorleksvärde, både på grund av den stora variationen (val av tryck och spridare) och på det faktum att uppgiften sällan är tillgänglig hos leverantören. I litteraturen anges använd droppstorlek nästan enbart i rapporter som avser tekniska försök. Droppstorleken för fläktssprutor är dock generellt mindre än för lantbrukssprutor. Av redovisade försöksresultat kan man dra slutsatsen att VMD¹ för fläktssprutor ligger vid ca 175 μm .

När det gäller vilken droppstorleksfördelning som man bör använda i fruktodling, anser Allen et al (1978) att det finns så många olika faktorer som inverkar på appliceringen, att det är omöjligt att isolera någon speciell droppstorlek som speciellt ändamålsenlig. Påståendet är förklarligt, framför allt då de i sina experiment använder två spridare med ganska breda droppstorleksspektra (figur 5). Även Morgan (1981) redovisar liknande uppfattningar.



Figur 5. Droppstorleksfördelningar för spridare använda av Allen et al (1978).

Randall (1971) har i sitt viktiga arbete använt en droppstorleksfördelning med VMD = 70 μm . Dessa relativt små droppar valdes eftersom deras låga sedimenteringshastighet tillät dem att väl följa luftströmmen. Han arbetade framför allt med att undersöka luftflödets inverkan på appliceringen och det bör därför ha varit en fördel för honom att eliminera stora droppar som har egen kvarstående rörelseenergi.

Van Ee och Ledebuhr (1984, 1988, 1989) försåg sin fläktsspruta med roterande spridare, som justerades så att dropparna låg inom storleksområdet 75 till 100 μm . De anser att kombinationen av små droppar och låg vätskevolym eliminerar avrinning och ger en högre total applicering. Dessutom har man observerat att vindavdriften reducerades för denna spruta. Det senare påståendet är inte verifierat, men torde bero på andra faktorer

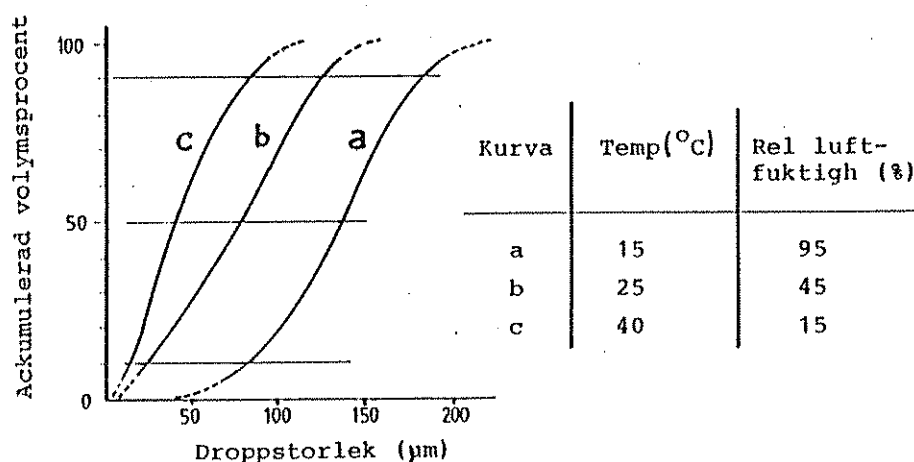
¹ VMD: Volymmediandiameter; storleken på den droppe som har duschens halva vätskevolym bestående av större droppar än sig själv.

än den valda droppstorleken. Bäcker (1984) anger för vinodling att det bör vara lämpligt att hålla sig över VMD 120 - 150 μm , under förutsättning att man iakttar faran med vindavdrift.

Vindavdriften är en av besprutningens avigsidor som påverkas starkt av droppstorleken. I ett antal arbeten har detta studerats. Threadgill et al (1975) anger att avdriftspotentialen för droppar större än 140 μm var negligerbar för en stor del av de förekommande atmosfäriska förhållandena. Göhlich (1983) hävdar att en droppe med storleken 100 μm omedelbart förlorar sin ursprungshastighet och följer varje förekommande luftström.

I fläktspirutor bildas droppduschen i den starka luftströmmen, vilket påverkar droppstorleksspektrat. Enligt von Oheimb (1986), som citerar Reichard et al (1979), minskar VMD genom att antalet små droppar ökar med tilltagande lufthastighet. Samma konstaterande görs av Yates et al (1985).

Droppstorleken minskar på väg till målet på grund av avdunstning, som i sin tur beror på temperatur, relativ fuktighet och tillryggalagd sträcka. Detta har redovisats av Hosseinipour (1978), Nordby (1979) och Göhlich (1983) (figur 6). Sker besprutning under gynnsamma förhållanden, t ex nattetid med låg temperatur och hög luftfuktighet är påverkan ringa, speciellt som droppens flygtid från spruta till träd är kort genom den höga lufthastigheten. Rosswag (1985) har vid vissa ogynnsamma klimatförhållanden kunnat notera effekten i fältförsök.



Figur 6. Förändrad droppstorleksfördelning orsakad av olika klimatförhållanden. Fördelningskurvorna visar climateffekten på samma ursprungliga droppstorleksfördelning efter en fallsträcka på 2 m (Housseinipour, 1978).

För ett gott bekämpningsresultat krävs både att avsättningsnivån är hög och att sprutvätskan fördelas jämnt i trädet. Framför allt för stora träd och lågt placerade sprututlopp innebär det problem att få den jämna täckning som fordras. Ett sätt att förbättra förhållandena kan vara att variera vätskefördelningen i höjddled efter trädets storlek och form samt bladverkets täthet. Ett exempel på detta finns t ex i Kümmels (1988, 1990) pågående forskning i samarbete med BBA:s² tekniska provning samt hos Keller & Henauer (1987). Man strävar efter att välja storlek och riktning på spridarna, så att man får en anpassning av vätskefördelningen till trädens storlek och form.

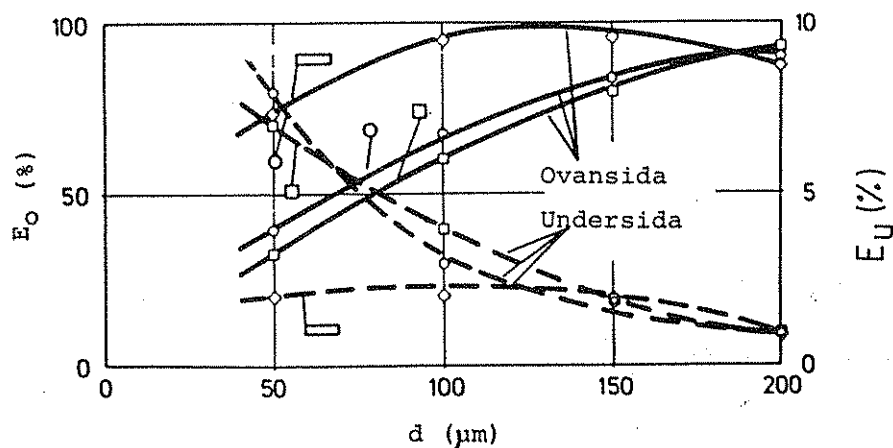
2.3 Objekt

Objektens storlek är den andra faktorn som inverkar på avsättningen. Med objekt menas i detta sammanhang trädets enskilda delar; blad, knoppar och grenar, men även inverkan från bladverket som helhet kommer att behandlas i detta avsnitt. Med syftning på den grundläggande teorin för avsättning kan bladen som objekt till viss del anses likna band eller plattor. Dessvärre föreligger inga stationära förhållanden, utan bladen kan vika undan och rotera runt bladskäftet. Det är därför en svår uppgift att hänföra egenskaperna hos bladen, så som de förekommer i bladverket, till grundteorin.

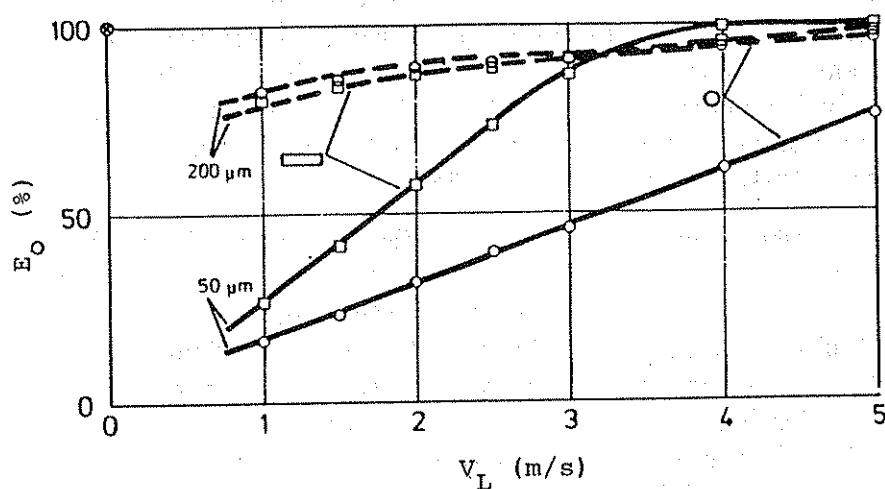
Rosswag (1985) har i laboratorieförsök undersökt hur avsättningen påverkas av storleken och formen på bladliknande objekt. I de experiment som redovisas i figurerna 7, 8 och 9 har objekten varit fixerade med sin yta vinkelrätt mot strömningsriktningen. Inverkan av objektens tvärsnittsmått, strömningshastighet och droppstorlek framgår tydligt ur resultaten. För små droppar gäller att ju smalare objekt, desto större blir avsättningen på över sidan, medan denna effekt minskar för stora droppar. Avsättningen ökar generellt med ökande strömningshastighet, men mycket kraftigare för små droppar och starkast för smala objekt. På objektens undersida avsätts i första hand små droppar; denna effekt tilltar med ökande strömningshastighet. De smala objekten är mindre känsliga för denna effekt. Att mätobjekten var fixerade innebär att de ej har haft samma egenskaper som verkliga blad. De erhållna resultaten avspeglar således endast en effekt av storlek och form.

Inget sägs om att de enskilda bladens form eller storlek skulle genomgå någon radikal förändring under vegetationsperioden, utöver vad som motsvaras av dess tillväxt. Ej heller har i litteraturen kunnat finnas uppgifter på olika egenskaper beroende på bladens placering i trädet.

² BBA: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig, Tyskland.

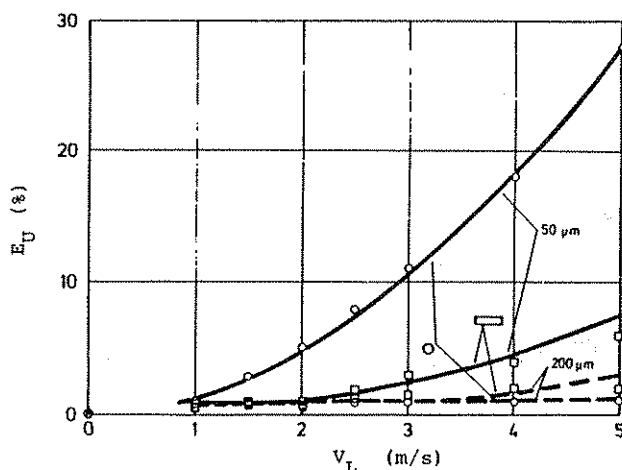


Figur 7. Uppsamlings effektivitet för ovansida (E_O ; heldragen linje), respektive undersida (E_U ; streckad linje), som funktion av droppstorleken (d) för objekt med olika form och storlek. O = cirkelskiva med \varnothing : 3 cm, \square = kvadrat med sidan 3 cm, \square = rektangel 1 x 5 cm. Objektmaterial: filterpapper. Lufthastighet: 2.5 m/s (Rosswag, 1985).



Figur 8. Uppsamlings effektivitet för ovansida (E_O) som funktion av lufthastigheten (V_L) för två olika droppstorlekar (d) och objekt med olika form och storlek. Heldragen linje: droppstorlek 50 μm ; streckad linje: 200 μm . O = cirkelskiva med \varnothing : 3 cm, \square = rektangel 1 x 5 cm. Objektmaterial: filterpapper (Rosswag, 1985).

Bladytornas egenskaper har undersökts i olika sammanhang. När det gäller äppelblad konstateras att överytan är glatt, med en randvinkel under 90° , medan undersidan är starkt hårig. Detta medför att översidan anses vara lätt att befukta och att undersidan suger upp dropparna. Det senare bekräftas även genom höghastighetsfilmning (Brazee et al, 1989). Metz (1986) har utfört mätningar av dessa egenskaper, som verifierar ovanstående och refererar även till t ex Walker (1979).



Figur 9. Uppsamlings effektivitet för undersida (E_U) som funktion av lufthastigheten (V_L) för två olika droppstorlekar (d) och objekt med olika form. Beteckningar enligt figur 8 (Rosswag, 1985).

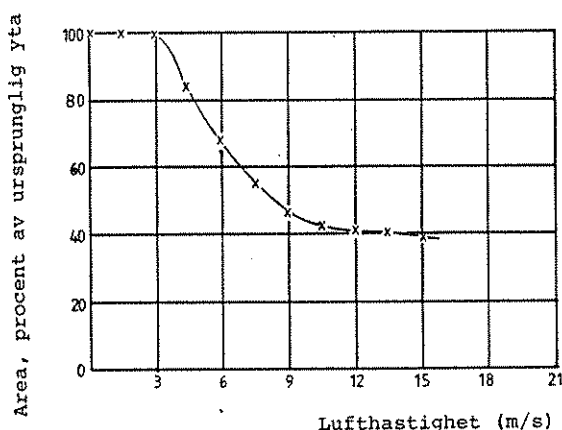
Man bör skilja på effekter som beror på egenskaper hos det enskilda bladet och på bladverkets täthet och form. Bladverket som helhet undergår en radikal förändring under vegetationsperioden. De nakna grenarna på våren utgör i stort sett inget hinder för luftströmmen, samtidigt som objekten (grenarna) är ganska små, vilket leder till goda avsättningsförhållanden. Däremot upptar grenverket en mycket liten total yta, vilket medför att den största delen av sprutvätskan passerar genom trädet.

Det råder osäkerhet om hur avsättningen sker på blad som fladdrar parallellt med luftriktningen. Metz (1986) menar t ex att man på detta sätt försäkras sig om jämnare avsättning på bladets båda sidor, medan den minskade projicerade ytan medför en minskning av avsättning. Van Ee et al (1984) påpekar att alltför starka lufthastigheter kan orsaka att bladen ställer sig parallellt med luftströmmen, så att de därmed minskar sin frontyta och gör jämn applicering svår. Byass (1965) har mätt bladverkets förändrade projicerade yta beroende på lufthastighet (figur 10). Han ansåg sig däremot inte kunna dra några underbyggda slutsatser av effekten.

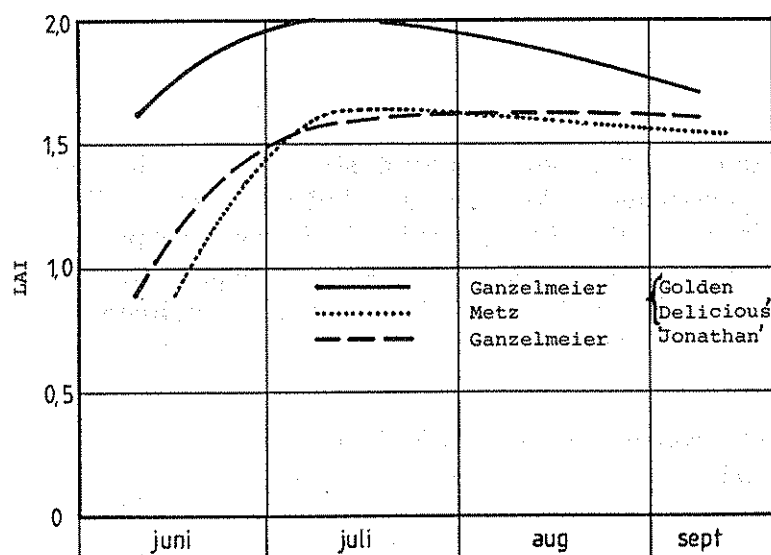
Uttryck för bladverkets täthet kan utgöras av bladyteindex (LAI^3). Data på LAI för äppelträd presenteras av Metz (1986) och Ganzelmeyer (1984). Som framgår av figur 11, ligger LAI för de undersökta träden mellan 1.5 och 2.0 under den största delen av vegetationsperioden. Trädets höjd och form (beskärningsprincip) har stor inverkan på LAI. I de relaterade referenserna är höjden 2.2 - 2.5 m.

Koch & Spieles (1990), som argumenterar för att dosering av preparat och vätskemängd skall räknas på trädradens "väggyta" ('Laubwandfläche') istället för på areal, anser att förändringen av LAI ej bör ha någon inverkan på vätskedoseringen.

³ Bladyteindex eller Leaf Area Index (LAI): förhållandet mellan trädets totala bladyta och trädets projektion på markytan.



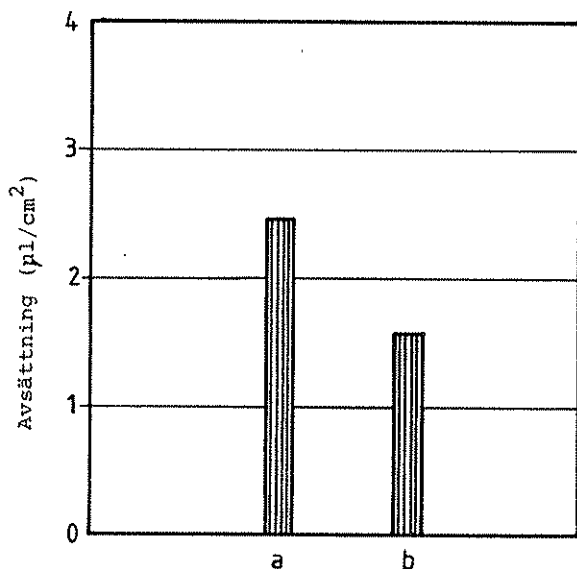
Figur 10. Bladverkets projicerade yta som funktion av lufthastigheten (Byass, 1965).



Figur 11. Bladverkets utveckling, uttryckt i bladyteindex (LAI) som funktion av tiden (efter Ganzelmeier, 1984 och Metz, 1986).

Metz & Moser (1988) har mätt avsättningen vid två tidpunkter med olika täthet på bladverket (8 juni resp 7 juli) och fann att avsättningen per ytenhet minskade med 35 % (figur 12). Forskarnas kommentar i direkt översättning:

"Visserligen kan minskningen i avsättning under fortskridande vegetationsperiod förefalla närmast paradoxal; den låter sig dock förklaras genom den totala bladytans ökning. Sprutvätskan fördelas på en väsentligt större yta, varigenom avsättningen per cm^2 avtar, men den sammanlagda avsatta preparatmängden ökar. Följaktligen måste detta också medföra en minskning av vindavdriften, vilket bekräftas av de undersökta avdriftsvärdena."



Figur 12. Avsättning av indikatorämne som funktion av tidpunkten (bladverkets täthet) (Metz & Moser, 1988). Sprutning har skett från en sida, körhastigheten var 4 km/h och luftflödet 60 000 m³/h.

a: 8 juni b: 7 juli

2.4 Luftström

Den tredje av de viktiga faktorer som påverkar avsättningen är strömningshastigheten. Normalt antar man att dropparnas hastighet är ekvivalent med lufthastigheten, vilket är mer korrekt för små än för stora droppar. I föregående avsnitt visades exempel på hur avsättningen ökar med ökande strömningshastighet. Det är viktigt att påpeka att i detta avsnitt främst redovisas möjligheten för **luftströmmen att tränga in i och breda ut sig i bladverket**, för att därigenom upprätthålla en hög hastighetsnivå, som medger en stor avsättning.

Bukovac et al (1986) konstaterar att problemet att upprätthålla en hög lufthastighet och applicering i trädens övre, bortre delar mycket beror på att traditionella sprutor har ett lågt placerat, nästan punktformigt utlopp. Luftströmmen och droppduschen får då av geometriska skäl en divergerande utbredning, som gör att lufthastigheten sjunker snabbt, samtidigt som vätskeinnehållet skall fördelas på en ökande yta.

Fleming (1962) har visat att mängden material som transporteras ett givet avstånd är proportionellt mot effekten i luftstrålen (citerad i bl a Nordby, 1975, och Fox et al, 1982). Fox understryker att effekten i luftströmmen vid utloppet endast är ett mått på sprutans effektbehov. Effekten i luftströmmen på ett visst avstånd från utloppet är däremot ett mått på luftströmmens förmåga att transportera droppar, att skjuta undan (öppna) bladverk samt att bibehålla luftströmmens egenskaper, trots yttre vind.

Van Ee et al (1984) påpekar att kombinationen mellan lufthastighet och droppstorlek är viktig. Han anser, grundat på erfarenhet från sprututveckling, att när man använder traditionella spridare, har ej lufthastigheter mindre än ca 7 m/s tillräcklig energi för att bära de stora dropparna in i ett tätt bladverk. Risken för sedimentering ökar således. För små droppar anser han inte att denna effekt är kritisk.

Rosswag (1985) fastslår att en stråle med stor utloppsarea och låg lufthastighet vid utloppet är energimässigt effektivare än en stråle med smalt utlopp och hög utgångshastighet. Detta påstående illustreras i mätningar utförda av Fox et al (1982)(tabell 2) och Reichard et al (1979)(figur 13).

Tabell 2. Jämförelse mellan utgångshastigheterna och den effekt som fordras för att erhålla lufthastigheten 4.5 m/s på avståndet 5 m från utloppet (Fox et al, 1982).

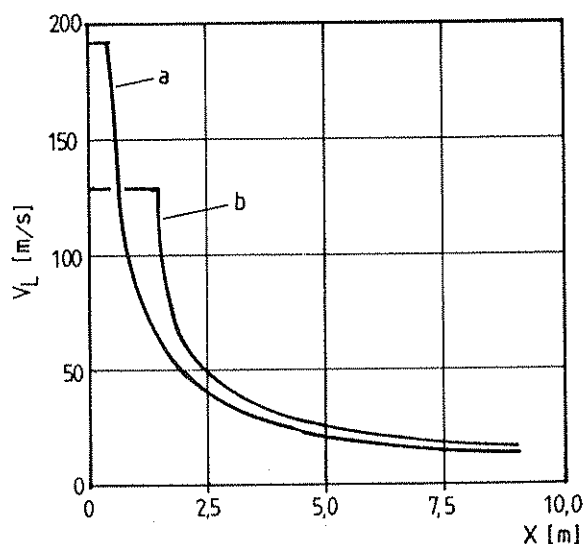
Spruta	b_0 [m]	V_{L0} [m/s]	P [kW]
S1	0.25	38.0	5.5
S2	0.125	47.6	5.9
S3	0.0625	62.3	7.3

S1 - S3 samma fläkt, men med olika mått på utloppet

b_0 luftutloppets bredd

V_{L0} lufthastigheten vid utloppet

P effekten vid utloppet



Figur 13. Jämförelser mellan lufthastighet (V_L) som funktion av avståndet från utloppet (x) för två fläktar som har samma utgångseffekt, men olika utloppshastighet och flödes-hastighetsförhållande (Reichard et al, 1979).

a: fläkt med hög utloppshastighet och mindre kvot mellan flöde och hastighet

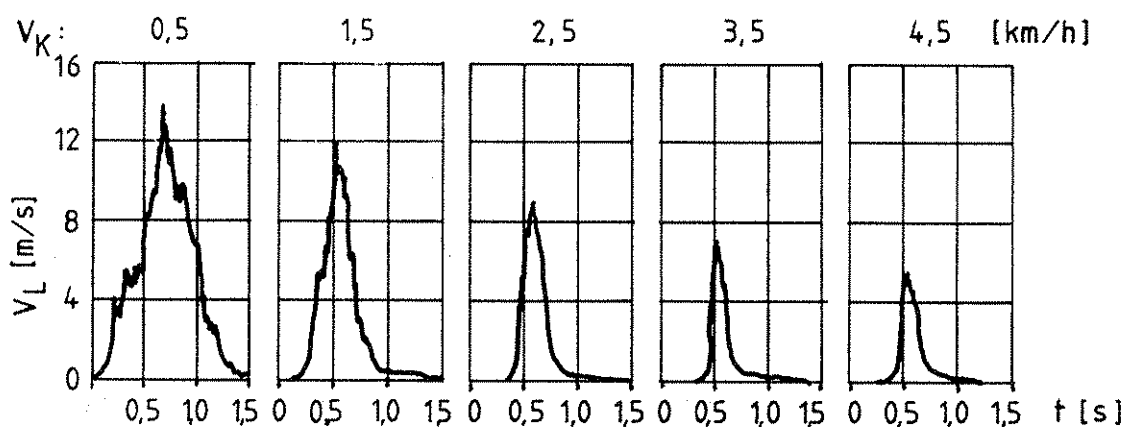
b: fläkt med lägre utloppshastighet och större kvot mellan flöde och hastighet

Randall (1971) visar i sitt grundläggande arbete att man för en viss energiinsats får den bästa fördelningen i trädet om förhållandet mellan luftflöde och lufthastighet är så stort som möjligt, med tillägget att lufthastigheten i den tätaste delen av bladverket måste vara så stor att bladen böjer åt sidan och låter dropparna tränga in. Denna hastighet anger han till ca 12 m/s för ett normalt träd av sorten Cox, med hänvisning till Byass (1965).

Hale (Hale et al, 1976. Hale, 1978) fortsätter Randalls arbete genom att arbeta med modellförsök, varefter han utvecklar och undersöker en sprutprototyp. Han visar bl a att sträckan som en luftström når är beroende dels av effekten vid utloppet, dels av luftflödet per längdenhet i körriktningen (m^3/m). Vidare visas att en sprutas egenskaper (avsättning) förbättras om luftvolymen ökas och lufthastigheten minskas vid konstant utgångseffekt. Genom att använda en sådan typ av spruta, är det möjligt att hålla högre körhastighet och kunna använda den under blåsigare förhållanden och trots detta få ett tillfredsställande behandlingsresultat.

I ett arbete av Hall et al (1975b) undersöktes hur sprutvätska avsätts i trädet för två olika luftflöde-hastighetsförhållanden. Det förelåg tydligt mindre variation i appliceringen på samtliga platser i trädet när man använde den spruta, som hade det högsta förhållandet mellan luftflöde och hastighet (för avsättningen blev variationskoefficienten 68 % mot 133 %). Det bör dock noteras att inte bara fläktsystemen, utan även andra parametrar (bl a spridarsystemen) var olika för de båda sprutorna.

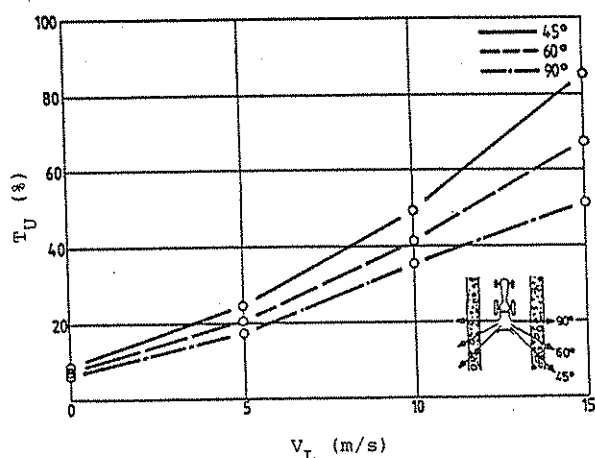
När man diskuterar körhastighetens inverkan på lufthastigheten bör man också beakta tidsförloppet eller varaktigheten. Locher & Moser (1981) visar i figur 14 hur strömningsförloppet ändras för olika körhastigheter. Vid konstant körhastighet förlängs den tid som trädet påverkas på samma sätt enligt Hale (1978), när luftflödet höjs på bekostnad av utloppshastigheten (konstant effekt vid utloppet). Bladverkets dynamik torde i båda fallen påverkas.



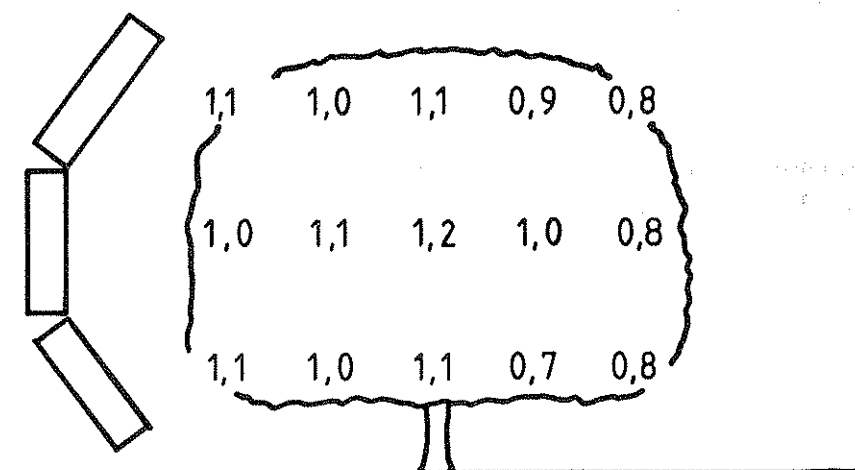
Figur 14. Lufthastighet (V_L) som funktion av tid (t) för olika körhastigheter (V_K) (Locher & Moser, 1981).

Luftstrålens riktning i horisontalplanet (i förhållande till körriktningen) har studerats av tyska forskare, främst i samband med sprutning i vinodling. Von Oheimb (1986) visar att man höjer avsättningen, speciellt på bladens undersida om man vinklar luftutloppen 45° bakåt enligt figur 15. Amerikanska forskare (Fox et al, 1982, Brazee et al, 1989) har studerat hur luftströmmen påverkas av vindförhållanden. Deras betraktelsesätt innebär att sprutans luftström skulle avlänkas bakåt på grund av fartvinden. Detta innebär samtidigt

ett ifrågasättande av de tyska resultatens giltighet. Fartvind existerar emellertid endast i förhållande till sprutan och ej i förhållande till träden, varför amerikanernas slutledning bör ifrågasättas.



Figur 15. Täckningsgrad på bladens undersida (T_U) som funktion av lufthastighet (V_L) för olika vinklar på utloppsriktningen (von Oheimb, 1986).

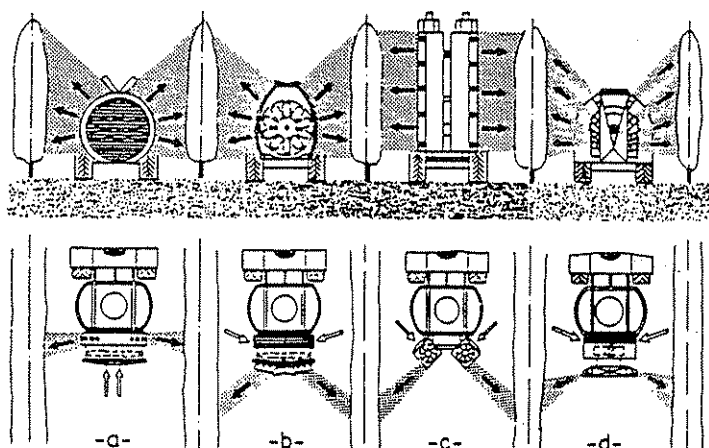


Figur 16. Relativ avsättning i olika punkter i träd för spruta med konvergerande luftströmmar (efter van Ee & Ledebuhr, 1988).

Hittills har det relaterats luftströmmar som har divergenta eller parallella strömningsförlopp. Det finns exempel på fläktarrangemang, där luftströmmen konvergerar mot trädets centrum eller mot en punkt just bortom trädet. Avsättningsresultaten för sprutor med denna fläktprincip är extremt bra (se figur 16, van Ee & Ledebuhr, 1988, Furness et al, 1985), men någon närmare undersökning av lufthastighetsförhållandena eller deras inverkan står ej att finna i litteraturen.

2.5 Fläktar

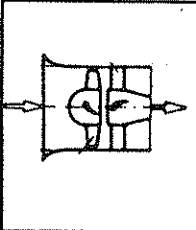
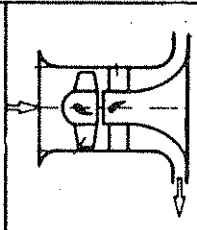
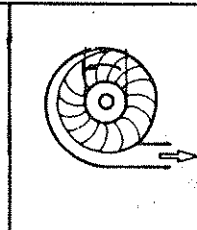
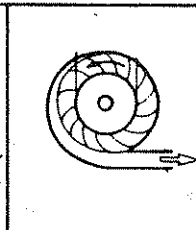
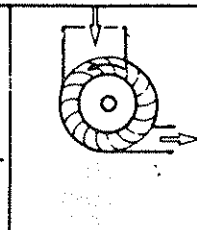
Luftströmmarna erhålls med hjälp av olika typer av fläktar. Framför allt i nyare tyska undersökningar har fläktarnas konstruktion och dess inverkan på luftströmmens egenskaper studerats (Göhlich et al, 1979, Lüders & Ganzelmeyer, 1982, Bäcker, 1984, Moser, 1985, Rosswag, 1985, Metz, 1986 och von Oheimb, 1986). I figur 17 och tabell 3 redovisas fläkttyper som är aktuella i fruktodling.



Figur 17. Fläkttyper som används i fruktodling (Moser, 1985).

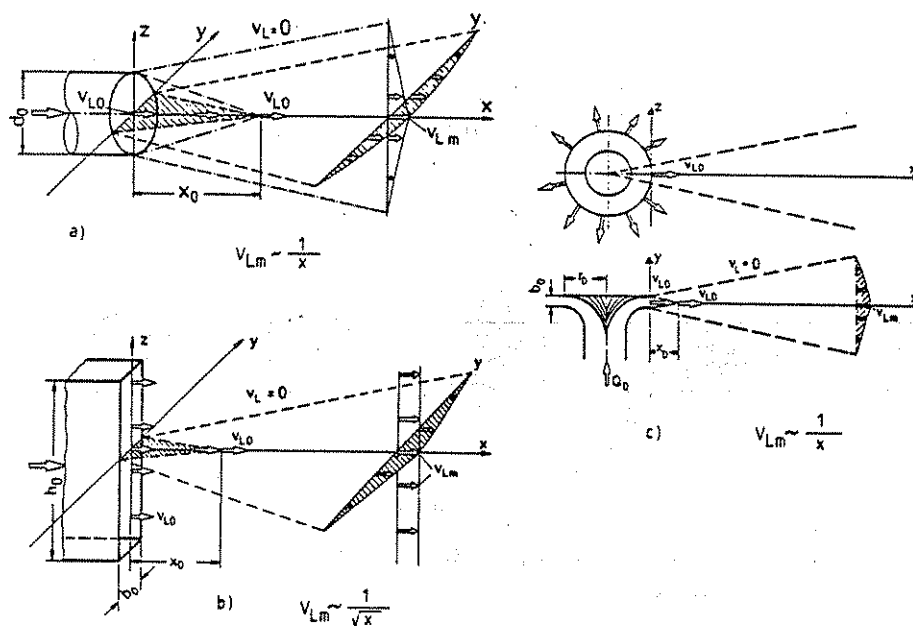
- a) Konventionell axialfläkt (avlänkning av strömningsriktningen 90°)
- b) Omvänd axialfläkt (avlänkning av strömningsriktningen 45°)
- c) Tvärströmsfläkt
- d) Radialfläkt

Tabell 3. Data på fläkttyper som används i fruktodling. De angivna verkningsgraderna är maximalvärden. I verkliga maskiner i drift vid besprutning sjunker verkningsgraden till under 40% (Rosswag, 1985).

					
Fläkttyp	Axial		Radial		Tvärström
Beteckning	Axial utan avlänkning	Axial med avlänkning	Tangential	Trumrotor	Två ggr genomströmmad
Strålför	Cylinderströmning	Plan källströmning	Cylinderströmning	Fyrkantstråle	Fyrkantstråle
Luftinlopp	Axialt				Radialt
Luftutlopp	Axialt	Radialt	Radialt	Radialt	
Maximal verkningsgrad [%]	85	85	80	65	60
Utloppshastighet [m/s]	ca 35	ca 35	ca 80	ca 40	ca 30

Luftströmmens egenskaper påverkas starkt av utloppens geometri. I figur 18 har för de tre utloppsformerna angetts på vilket sätt hastigheten i centrum av strålen (V_{Lm}) är proportionell mot avståndet (x) utanför kärnan. För cirkulära utlopp och för plan källströmning är V_{Lm} omvänt proportionell mot avståndet, medan för den plana fristrålen är V_{Lm} omvänt proportionell mot roten ur avståndet. För att det senare sambandet skall gälla, måste kvoten mellan höjd (h_0) och bredd (b_0) vara tillräckligt stor. I figur 19 redovisas sambandet (Rosswag, 1985). Det framgår att höjden måste vara närmare 10 ggr större än bredden för att villkoren skall anses uppfyllda.

Denna egenskap, att lufthastigheten varierar på olika sätt med avståndet, beroende på utloppets form, avspeglas i de lufthastighetsmätningar som redovisas i ett stort antal litteraturreferenser. En av Rosswags (1985) mätningar (erhållna i modellförsök) illustrerar tydligt hur skillnader i förutsättningar påverkar möjligheterna att upprätthålla en hög lufthastighet vid ökande avstånd från utloppet (figur 20). Den plana fristrålen från ett långsmalt, rektangulärt utlopp har de bästa egenskaperna. Tvärströmsfläktar har normalt denna typ av utlopp och strömning och har således i detta avseende gynnsammare egenskaper än de övriga fläkttyperna.

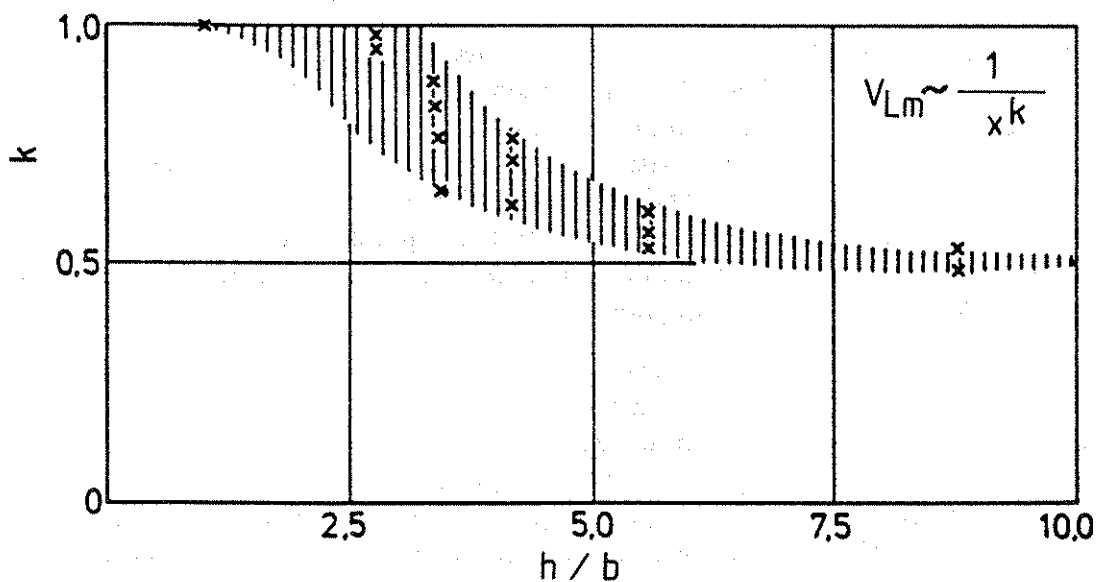


Figur 18. Luftutlopp med olika geometri och deras inverkan på luftströmmens egenskaper (Rosswag, 1985).

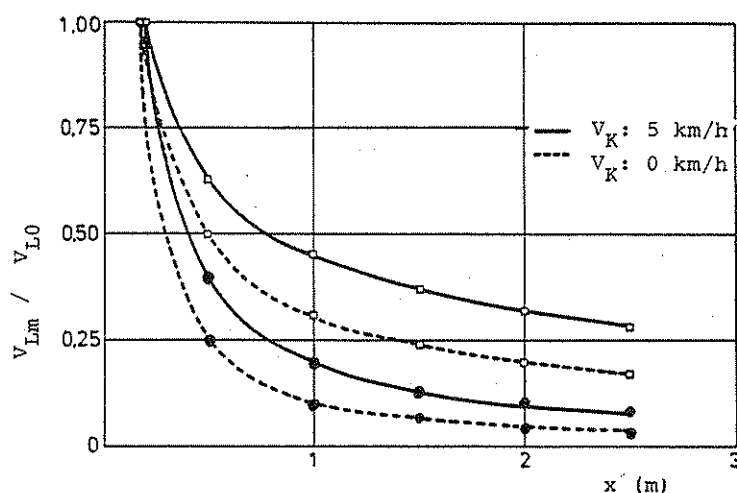
a) axelsymmetrisk fristråle b) plan fristråle c) plan källströmning

d_0 : utloppets diameter
 b_0 : utloppets bredd
 h_0 : utloppets höjd
 x_0 : kärnlängd

V_{L0} : lufthastighet vid utloppet och inom kärnan
 V_{Lm} : lufthastighet i centrum av strålen ($x > x_0$)
 x : avståndet från utloppet



Figur 19. Exponent k i sambandet $V_{Lm} \sim 1/x^k$, som funktion av förhållandet mellan höjd (h) och bredd (b) på utloppet (Rosswag, 1985).



Figur 20. Relativ lufthastighet (V_{Lm} / V_{L0}) som funktion av avstånd (x) vid olika utloppsgeometrier och körhastigheter (V_K). Rektangulärt utlopp = \square , cirkulärt utlopp = \bullet . Utloppshastighet, bredd resp diameter samt kärnlängd är samma för de två utloppen (Rosswag, 1985).

2.6 Samspel

När droppmolnet når fram till bladverkets yttersta delar har dropparna ungefär samma storleksfördelning som när de lämnade sprutan. De har hög hastighet och förutsättningarna för avsättning är goda, framför allt för de största dropparna. En utsortering kommer att ske genom hela bladverket, ända tills kombinationen av droppstorlek, hastighet och bladstorlek gör att samtliga droppar passerar förbi bladen. Bladverket kommer att fungera som ett filter, som efterhand sorterar bort (samlar upp) de största dropparna. Effekten har dokumenterats av t ex Metz (1986) och är rimligen starkare i täta bladverk. Droppstorleksfördelningen kommer därigenom att förändras så att droppstorleken blir mindre i den del av bladverket som är längst bort från sprutan (figur 21). Fenomenet förstärks även av att en del stora droppar splittras vid kollisionen mot bladverket och ger upphov till mindre droppar.

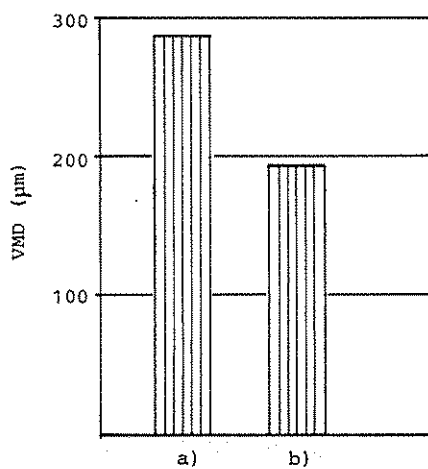
Vid breda droppstorleksfördelningar blir effekten tydligare, eftersom skillnaden mellan dropparnas avsättningsegenskaper på grund av storlek är större. Vid extremt smala fördelningar med små droppar (t ex från roterande spridare) blir effekten av storleks-sorteringen mindre.

För traditionella sprutor, avtar lufthastigheten radikalt med avståndet från luftutloppet, även om inget träd hindrar. Detta är framför allt en effekt av att luftströmmen är divergent. Trädets bladverk sänker ytterligare lufthastigheten genom i första hand spridningen av luftströmmen, men också genom energiomvandling på grund av turbulens och

bladverkets rörelse. Sammantaget innebär detta att förutsättningarna för avsättning försämras efterhand som droppduschen passerar genom trädet. Ett tätare bladverk påverkar lufthastigheten mer, vilket medför ytterligare sämre förutsättningar för avsättning.

Förhållandet mellan lufthastighet och flöde inverkar även. I tidigare avsnitt har redovisats hur lufthastigheten från en luftström med hög utgångshastighet och litet flöde reduceras snabbare än för en luftström med lägre utgångshastighet och större flöde.

Bladstorleken har en stor betydelse för avsättningen, men är en parameter som dels är i stort sett omöjlig att påverka, dels torde ha ett konstant värde genom hela bladverket. Luftströmmen kan dock samverka med bladstorleken på så sätt att vid höga lufthastigheter orienterar bladen sig parallellt med luftströmmen så att den projicerade ytan minskar. Effekten på avsättningen är oklar, men den förändrade orienteringen på bladen innebär att luftströmmen lättare kan tränga in i bladverket.



Figur 21. Droppstorlek (uttryckt som VMD) som funktion av position i trädet. Sprutning från en sida (efter Metz, 1986).

a) VMD i den del av trädet som är närmast sprutan

b) VMD i den del av trädet som är längst bort från sprutan.

3 Teoretiska modeller

3.1 Utvidgad grundmodell

Av litteraturen framgår att det finns ett grundläggande samband för hur droppar avsättes på föremål i en luftström. Detta samband gäller ett fixerat föremål i en väldefinierad stationär situation. Man skulle kunna tänka sig att konstruera en utvidgad modell som gör det möjligt att beräkna hur avsättningen sker i ett bladverk genom att kombinera ett antal delmodeller för bladverkets detaljer. Förutsättningarna för varje delmodell skulle då utgöras av resultatet från de närliggande delarna.

Det finns två viktiga invändningar mot detta resonemang:

- * I antagandet för grundmodellen är föremålet fixerat. Detta gäller ej i verkligheten. Bladen uppträder i många fall som instabila vippor, vars läge ej går att förutbestämma.
- * Karaktären på luftströmmen efter att den har passerat ett föremål är svårdefinierad, eftersom turbulens uppträder.

Dessa invändningar innebär att om modellen skall beskriva verkligheten på ett meningsfullt sätt, måste det införas antaganden som beskriver slumpmässigheten både för bladens rörelse och luftströmmens karaktär. Dessa förutsättningar är ej kända.

Sprutförloppet är ej heller stationärt. Sprutan kör förbi trädet med en så pass hög hastighet att hela förloppet är över på någon sekund. För att få modellen mer verklighetsnära, måste även antaganden göras som beskriver dynamiken i förloppet.

Sammanfattat innebär detta att det är mycket svårt, om inte omöjligt, att konstruera en modell för att beräkna avsättningen i bladverket under olika förutsättningar. Stöd för detta påstående finns även i litteraturen. Citat (Little, 1979):

The capture of airborne particles by stands of trees or crops is especially complex as deflection of the air-stream causes changes in wind-speeds around, and within the stand, whose effects on particle deposition velocities vary with particle size. Increased turbulence and higher wind-speeds at the leading edge and over the top of the canopy tend to increase impaction and eddy diffusion deposition velocities, but the reduced wind-speeds within the stand, whilst favouring deposition of the larger particles from the air-stream by sedimentation, will reduce the impaction efficiency and eddy diffusion deposition velocities of smaller particles. ...- Theoretical descriptions of impaction on bodies of simple geometry have received much attention, but these cannot be applied to the impaction of spores, pollen, grains, droplets and other particles on the stems and leaves of plants, for not only are plant parts often of irregular or complex shape, but they may also be free to flutter or bend in the air-stream and the retention of impacting particles may be incomplete.

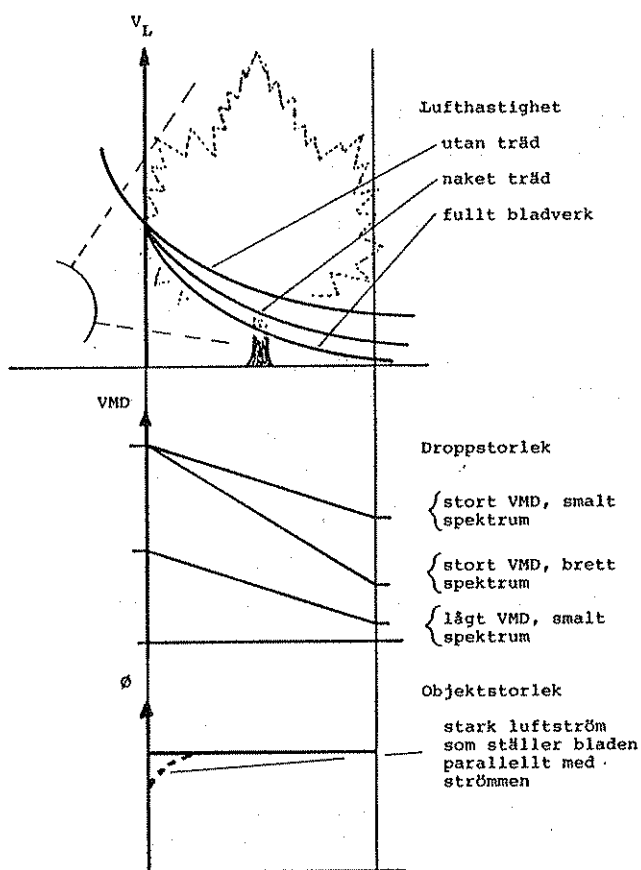
Det är emellertid viktigt att påpeka att det inte är de grundläggande sambanden som är ogiltiga, utan problemen ligger i svårigheten att göra modellantaganden och -förutsättningar, som stämmer med verkligheten.

3.2 Bladverket som ett filter

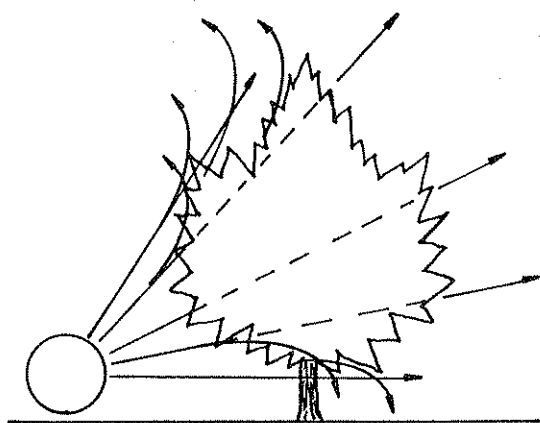
I stället kan man betrakta bladverkets egenskaper på makronivå, och låta det beskrivas som ett filter. Denna analogi görs ej för att beräkna avsättningen, utan som en utgångspunkt för förståelse och diskussion kring vad som händer i bladverket, när man ändrar de viktigaste parametrarna.

En modell som beskriver skeendena i bladverket som en filtrering, tar ingen hänsyn till vad som händer utanför trädet. Den behöver därför kompletteras med en modell, där trädet beskrivs som en kropp i luftströmmen (se figur 23). Denna modell kan beskriva effekter som reflektion mot trädets periferi, men också risk för vindavdrift. I antagandena måste trädet betraktas som en delvis genomtränglig kropp. Modellen är ej beräkningsbar, och har i detta arbete endast använts i några få sammanhang, framför allt för att ge underlag för fortsatta mätningar av luftströmmar och vätskeförekomst runt trädet. Denna modell skulle i ett utvidgat sammanhang också kunna ge mer precisa förutsättningar för filtermodellen.

För att illustrera principerna för hur bladverket samverkar med de tre viktigaste parametrarna lufthastighet, droppstorlek och objektstorlek representeras bladverket i figur 22 av ett filter. Kurvornas förlopp har skisserats och de behöver i realiteten ej vara linjära. Det framgår att avsättningsförutsättningarna blir sämre i trädets borte del som en kombination av avtagande lufthastighet, avtagande droppstorlek och konstant objektstorlek (i viss begränsad utsträckning ökande objektstorlek).



Figur 22. Bladverket som ett filter. Den principiella förändringen hos parametrarna luft-hastighet, droppstorlek och objektstorlek vid passage genom bladverket.



Figur 23. Trädet som en kropp i luftströmmen.

3.3 Åtgärder för att påverka avsättningen

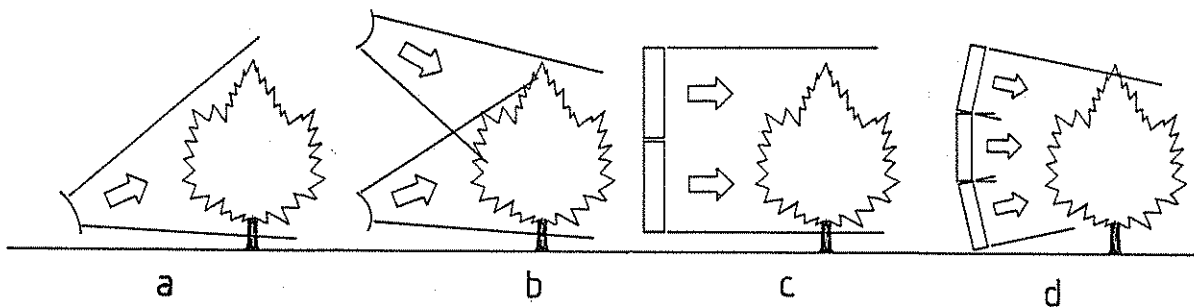
Man skulle således öka avsättningen genom att öka lufthastigheten och droppstorleken. Detta är riktigt, men en ökad totalavsättning innebär ej självklart en jämnare avsättning. Dessutom, som klargjorts i tidigare avsnitt, innebär detta i stället en rad icke önskade effekter. Man kan nämna större risk för vindavdrift med ökad lufthastighet, mindre jämn täckning på enskilda blad vid ökad droppstorlek samt större tidsåtgång vid sprutning med högre hektargivor.

I stället bör man leta efter åtgärder som kompenserar faktorernas förändring genom trädet. Att förändra bladstorleken är omöjligt. Effekterna av förändrad droppstorleksfördelning har diskuterats ovan. Smalare droppstorleksfördelning skulle vara en framkomlig väg att minska effekten av storlekssorteringen, men det saknas tyvärr data om vilka droppstorlekar som är de optimala under olika förutsättningar.

Större möjligheter står till buds när det gäller att påverka lufthastigheten genom trädet. Redan en övergång från divergenta luftströmmar till parallella innebär att lufthastigheten ej avtar lika snabbt. Om dessutom hastighetens avtagande i trädets bortre del kunde undvikas, skulle avsättningens jämnhet öka.

De exempel på fläktorientering som redovisats av främst van Ee & Ledebuhr (1984, 1988, 1989) kan anses vara ett uttryck för en sådan ambition. Likaså skulle man kunna se samma strävan i de danska och holländska sprutor, som försetts med ett kompletterande högt placerat luftutlopp. De senare är dock behäftade med nackdelen att utloppen var för sig ger upphov till divergerande luftströmmar. Som framgår av principfiguren nedan (figur 24), kan fläktorienteringen för den spruta som van Ee och Ledebuhr har utvecklat (i fortsättningen benämnd Curtec-sprutan) medföra en koncentrerings av strålarna till de bortre delarna av trädet, med åtföljande höjning av lufthastigheten.

Det kan knappast göras troligt att enbart denna hastighetshöjning helt kan kompensera förändringen av droppstorlek, men den bör ge en tydlig förbättring. I försöksresultat från Curtec-sprutan erhålles en nästan helt jämn avsättning genom trädet (se figur 16 i tidigare avsnitt). Det bör påpekas att droppstorleksfördelningen är mycket smal, vilket, som nämnts tidigare, även bör reducera effekten av storlekssorteringen. Någon studie som ger förklaringar till de goda resultaten med Curtec-sprutan har ej kunnat finnas i litteraturen.



Figur 24. Fläktorientering och luftströmningsriktning för kommersiella sprutor.

- a) Lågt placerat utlopp, divergerande luftström
- b) Två utlopp, med var för sig divergerande luftströmmar
- c) Parallell luftström (tvärströmsfläktar)
- d) Curtec-sprutan (konvergerande luftströmmar skapade med tvärströmsfläktar, van Ee & Ledebuhr, 1988).

En hypotes är att de konvergerande luftströmmarna ökar lufthastigheten i trädets bortre delar, så att avsättning sker, trots att droppstorleken minskar under passagen genom trädet. Till detta kommer att en mindre del av droppduschen styrs över trädet.

I den här framförda analysen har möjligheter redovisats och tänkbara förklaringar skisserats. Diskussionen bygger på tillämpningar av de grundläggande samband som styr avsättningen av droppar i ett bladverk. Detta utgör det centrala underlaget för experimenten och det som hypoteserna i följande avsnitt baseras på.

4 Projektets mål och hypoteser

I en vid bemärkelse är målet med arbetet att studera och klarlägga de tekniska faktorernas inverkan på appliceringen. Därigenom ökar förståelsen för de centrala sambanden och ges möjlighet att utforma sprututrustning som ger en hög appliceringsnivå och en jämn fördelning i trädet, med ett minimum av förluster. I föregående avsnitt har presenterats intressanta resultat, som utgör exempel på en positiv förändring av förutsättningarna för avsättningen.

Projektets övergripande mål kan formuleras:

- * Att studera och klarlägga appliceringens beroende av luftströrelsernas karaktär, när luftströmmarna riktas mot centrum eller just bortom centrum av trädet.

Anledningen till att denna typ av luftströmmar har valts är de intressanta resultat som presenterats av van Ee och Ledebuhr, där man erhållit en högre och mycket jämnare fördelad applicering av sprutvätska i trädet när flera luftutlopp har riktats mot trädets centrum (konvergerande luftströmmar), jämfört med traditionell teknik med ett lågt placerat luftutlopp (divergerande luftströmmar). Några närmare undersökningar för att förklara resultatet har ej kunnat finnas i litteraturstudien.

På hypotesprövningsnivån krävs en ytterligare detaljering av målen och här sker också en stark koppling mellan hypoteserna och målen. På denna nivå formuleras två mål enligt följande:

- * Att pröva hypotesen: Om man låter två luftströmmar konvergera mot trädradens centrum eller just bakom, blir appliceringen bättre än om fläktarnas utlopp riktas så att luftströmmarna blir parallella. Med **bättre** menas högre totalnivå och jämnare fördelning i trädet.

Man skulle i och för sig kunna påstå att Ledebuhr och van Ee redan har prövat denna hypotes och funnit den verifierad. Men så är inte fallet, eftersom de jämför "sin" spruta med en konventionell, vilket innebär att många fler faktorer än luftströmmarnas riktningar skiljer. Dessutom är de träd de använt så olika de som är vanliga i Sverige, att en framtida tillämpning kräver en upprepning under svenska förhållanden.

Hypotesen värderas genom mätning av appliceringen. Den accepteras om appliceringsnivån är högre och fördelningen jämnare för vinklade fläktar. Med appliceringsnivå menas det aritmetiska medelvärdet för applicerad mängd över samtliga mätpositioner. Fördelningen studeras över t ex ett tvärsnitt genom trädets bredaste del. Variationskoefficient och differenser mellan positionsvärden används som uttryck för detta. Intressant är även att studera hur appliceringen ändras efterhand som trädets egenskaper ändras, dvs årstidsaspekten tas in som ett uttryck för trädets förändrade täthet.

En viktig faktor, som påverkar diskussionen, är resultatet av de mätningar som görs utanför trädet. Härigenom erhålles en uppfattning om mycket preparat som inte utnyttjas utan som passerar genom eller över trädet.

Eftersom hypotesen innefattar en förmodan om en förändrad lufthastighetsfördelning i trädet på grund av fläktarnas vinkling, formuleras det andra målet på följande sätt:

- * Att pröva hypotesen: Om man låter två luftströmmar konvergera mot trädradens centrum eller just bakom, blir lufthastigheten i olika punkter av trädet annorlunda än om fläktarnas utlopp riktas så att luftströmmarna blir parallella, speciellt så att lufthastigheten i den bortre delen av trädet blir högre för de konvergerande luftströmmarna.

Hypotesen värderas genom att lufthastigheten mätes i trädet. Hastigheten är en vektor, varför även riktningen är intressant. Komponenter som registreras är maxhastighetsnivå, hastighetsintegral, varaktighet samt symmetri i tidsförloppet. Dessa redovisas närmare i avsnittet 5.4 Metod för appliceringsmätning.

Hittills har 'trädet', 'luftströmmen', 'riktning' etc definierats mycket allmänt. De praktiska experimenten innebär självfallet begränsningar av dessa variabler. Det bör därför undersökas hur förändringar av värdena på de olika tekniska faktorerna (körhastighet, lufthastighet, droppstorlek i utgångsläget, fläktvinklar mm) påverkar resultatet. Centralt är också variationen av de egenskaper som är förknippade med trädet, framför allt för att klargöra begränsningen i generaliserbarhet.

Den senare hypotesen (om luftströmmens förändring) utgör det första steget i att **förklara** resultatet i den första hypotesen (om skillnader i applicering). I det presenterade arbetet har tyngdpunkten lagts vid appliceringsmätningarna.

5 Experiment

5.1 Inledning

Erhållna resultat skall gå att generalisera så långt som möjligt, men för att inte experimentens omfattning skulle bli orimlig, har antalet varierbara faktorer måst begränsas, vilket i sin tur innebar en begränsning av allmängiltigheten hos resultaten.

Det är önskvärt att framkomna resultat skall kunna tillämpas på alla typer av fruktträd. Men eftersom trädens egenskaper (t ex storlek, täthet, etc) har stor inverkan och skiljer sig mellan odlingstyp, sort, tid på året, mm, innebär detta att man måste ta med många olika typer av träd i undersökningen, eller också känna sambanden mellan trädens egenskaper och appliceringsresultat.

Ett rimligt mål i detta avseende är därför att resultaten skall vara giltiga för en vanlig typ av svensk fruktodling. För att detta skall gälla, utfördes experimenten på en grupp av träd som är representativ för den vanligaste trädtypen.

Trädens täthet varierar över året. Denna variation är så viktig att den bör kontrolleras. Därför upprepades mätningarna under vegetationsperioden, så att ett uttryck för utvecklingsstadiernas inverkan på appliceringen erhöles.

Klimatet, framförallt vindhastigheten, har stor inverkan på mätningar av applicering, men eftersom besprutning normalt sker under förhållanden med ingen eller ringa vind, valdes tillfällen då vindhastigheten var så låg som möjligt. Experimenten skulle dessutom ha fått en orimlig omfattning om de skulle täckt varierande vindstyrkor och -riktningar.

Detta till trots finns en risk för att klimatförhållanden kan variera under sprutningens gång. Därför infördes tidsblock, eller upprepningar av försöken, vilket minskade risken för att plötsliga vindilar skulle förrycka resultatet.

Redan vid två behandlingar, raka resp vinklade fläktar och tre upprepningar, innebar ett försökstillfälle sex körningar, vilket i tid motsvarar ca 4 timmar. Varje ytterligare faktor som infördes skulle öka totaltiden och medföra att tidsblocken förstörades (med risk för att konstanta förhållanden inom blocken ej kunde upprätthållas).

Övriga faktorer låstes därför, i synnerhet de tekniska som körhastighet, fläktvarvtal (luft-hastighet och flöde), vinkel på fläktarna, vätskemängd, tryck och val av spridare (droppstorlek), antal och placering av spridare. I avsnitt 5.3.2 Sprutteknik redovisas värdena på dessa faktorer. Lufthastigheter har mätts i samma träd och med samma förutsättningar, varför samma ställningstaganden gäller för dessa.

Med ett enda undantag sprutades träden från en sida, för att fördelningsbilden skulle bli tydlig. Det är logiskt att tvåsidig besprutning (så som sker vid praktisk sprutning) innebär att appliceringsresultatet kan adderas.

En viktig del av generaliseringen, som dock ligger utanför arbetet, gäller sambandet mellan den uppmätta appliceringen på konstgjorda objekt, verkliga blad och den reella biologiska effekten. I försöken användes konstgjorda objekt för att mäta appliceringen. I avsnitt 5.4.2 Val av mätobjekt förklaras detta val närmare. Att använda biologisk effekt som mätare är orimligt ur resurssynpunkt (och även med tanke på den erforderliga detaljeringsgraden). Däremot finns stöd i litteraturen när det gäller sambandet mellan konstgjorda objekt och vanliga blad (Salyani & Whitney, 1988).

5.2 Omfattning av experimenten

Experimentdelen omfattade dels mätning av applicering, dels mätning av lufthastighet. I denna rapport läggs tyngdpunkten vid appliceringsmätningarna, men uppläggningsen var densamma för de två typerna av mätning.

Det finns en principiell skillnad mellan mätningarna. Appliceringsmätningarna gav ett ackumulerat resultat av en sprutning, dvs man kunde inte avgöra vad som hänt under tiden sprutning skett. I lufthastighetsmätningarna däremot registrerades de momentana värdena. Detta medförde olika principer vid bearbetningen av resultaten.

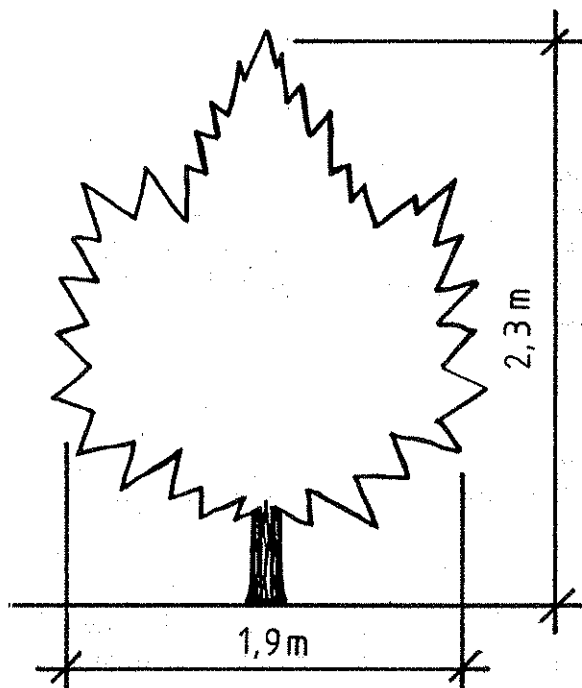
Appliceringsmätningarna omfattade dokumentation av sprutorna (ett försök), mätningar i nakna träd (stålobjekt, ett försök), mätning i träd under odlingssäsongen (pappersobjekt, fyra försök) samt mätning bakom träd (ett försök). Kompletterande mätningarna i träd undersöktes ett ökat antal positioner samt sprutning från båda sidor.

Lufthastighetsmätningarna omfattade dokumentation av fläktarna (ett försök), mätningar i träd under odlingssäsongen, inklusive mätning bakom träd (två försök).

5.3 Val av förutsättningar

5.3.1 Träden

Trädens storlek och form beskrivs i figur 25. Trädtypen representerar ett mellanutseende; den är ej identisk med den gamla stilens trädtyp med stora enstaka träd (på stora avstånd) och ej heller liknar den den mest moderna intensivodlingen med små träd som bildar en häck. Däremot liknar den en vanlig trädtyp och planteringsform som etablerades under sjuttioalet. Denna odling har hittills varit allmänt förekommande och trädtypen var gängse, när projektet startade, även om man nu ser en tilltagande andel intensivplanteringar. Trädens radavstånd var 5 m och träдавståndet i raden var 3 m.



Figur 25. Trädens storlek och form (sektion, vinkelrätt mot raden).

I försöken har en blindrad i ett odlingskvarter använts. Den har därför öppet fält på sin ena sida (se översiktskarta, figur 26). Sprutningen utfördes från sista körraden ut mot det öppna fältet. Enda undantaget från detta gäller sista körningen, då träden sprutades från båda sidor. Samtliga normala sprutningar kördes från söder.

Vid valet av träd sorterades först alla defekta träd bort. Med defekta menas att de var mycket osymmetriska i sin byggnad, att stammen lutade extremt, att de hade annat antal grenvåningar, eller att de på annat sätt skilde sig från vad som skulle kunna kallas ett normalt träd.

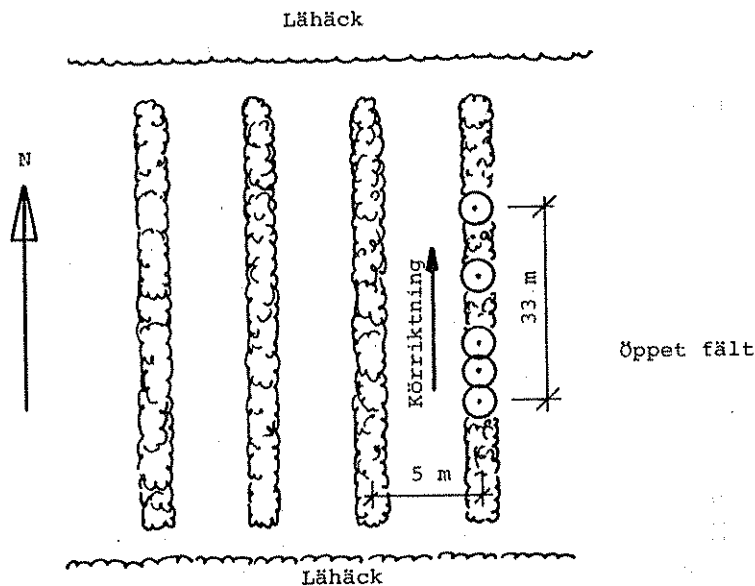
Därefter valdes fem träd av de återstående, så att de låg så nära varandra som möjligt. Därigenom minimerades tiden från första till sista träd, så att risken för att vinden skulle hinna ändra sig under sprutningens gång blev minimal. Avståndet mellan första och sista träd är 33 m, vilket innebär (med körhastigheten 6.0 km/h) att spruttiden var 20 s. Den mittre delen av raden valdes för att få utrymme för både start- och stoppsträcka.

Eftersom fluorescerande preparat användes, hölls tiden för insamling av proven så kort som möjlig, för att inte få olika spontan nedbrytning (på grund av UV-ljus). Med många träd hade då behövts ett större antal medhjälpare. Erfarenhetsmässigt är det svårt att finna spruttillfällen med likformiga klimatbetingelser, speciellt med avseende på vind. Antalet upprepningar prioriterades före antalet ingående träd för att därigenom eliminera tillfälliga vindar som kan uppträda under en körning.

Det sätt på vilket urvalet skedde, har dock haft ett icke ringa inslag av slump, och, utan att med mätningar kunna bevisa det, kan påstås att de valda träden är representativa för den angivna trädtypen. Vidare fanns det, vid det tillfälle då valet gjordes, inte möjlighet att medvetet välja ut träd som hade egenskaper som gynnade effekterna från endera behandlingsalternativen.

Genom att välja bort träd som avviker från genomsnittet har dock information om spridningen i appliceringsresultatet på grund av en realistisk spridning i egenskaperna hos ett naturligt trädbestånd gått förlorad.

Att antalet träd sattes till just fem stycken är återigen en kompromiss. Med två medhjälpare hinner man samla in objekten på ca 15 minuter, vilket inte bör ge några systematiska fel på grund av nedbrytning av preparatet.



Figur 26. Karta över försöksfältet. \odot = träd som ingått i mätningarna.

En strävan var att utföra appliceringsmätningarna under hela odlingsäsongen, för att därigenom kontrollera inverkan av bladverkets täthet. Tidpunkterna valdes i stort efter bladverkets utveckling och i detalj framför allt efter klimatförutsättningarna och kan i viss mån anses slumpmässiga.

Besprutning har skett i följande utvecklingsstadier:

<u>Datum</u>	<u>Utvecklings-</u> <u>stadium</u> ⁴	<u>Anm</u>
1990-		
02-06	vilande knopp	träden ej beskurna
04-25	ballong	
05-21	dunig kart	
06-12	glatt frukt	Ø ca 20 - 25 mm
09-27	skördade, före bladfall	

Frånvaron av mätningar under juli och augusti beror på semestrar och tekniska problem.

Trädens uppbyggnad, form och beskärning ansluter sig till en princip som ligger nära den trädform som kallas 'Slank spindel'. Eftersom trädens avstånd i raden är ganska generöst (3 m), har de i denna riktning fått ett större omfång; närmare 'Fri spindel'.

Efter den 6 februari gjordes en kraftig beskärning, bl a för att få en storlek på träden som var anpassad till båda sprutorna. Trots att beskärningen var kraftigare än tidigare, ansågs den ej vara onormal och innebar heller ej att något av sprutalternativen favoriserades.

Sommarbeskärning utfördes ej.

5.3.2 Sprutteknik

Vid sprutningen var hektargivan inställd på 200 l vätska per ha. Detta gäller för körning i varje rad och med 5 m radavstånd. Detta värde baserades på erfarenhet från tidigare försök. 400 l/ha kan medföra problem med ansamling av droppar (på gränsen till avrinning i vissa delar av trädet) och väntetider mellan körningarna för att bladverket skall torka. Med hektargivan 100 l/ha är det svårt att uppnå lämplig analysnivå. Att spruta med 200 l/ha på denna typ av träd ligger dessutom nära vad som är brukligt.

Trycket valdes till 0.47 MPa (4.7 bar). Detta är ett resultat av spridarval, antal spridare, körhastighet, önskad vätskemängd/ha, radavstånd, droppstorlek etc.

Trycket avlästes på en manometer och inställdes från sprutdatorn i traktorn. Med konstant PTO-varvtal kunde trycket hållas konstant. Sprutans normala manometer var liten och svåravläst, speciellt i mörker. Det noterades:

- * att vid acceleration med liten mängd sprutvätska i tanken blev skvalpet så kraftigt att pumpen kunde suga luft, med stora tryckvariationer som följd
- * att trycket inte säkert gick tillbaka till förinställt värde efter avstängning/påslag.

För att kontrollera tryckvariationerna monterades en stor och tydlig manometer samt ökades mängden vätska i tanken. Dessutom barlastades tanken med ett antal vattenfyllda

4 Beteckningar enligt Fleckinger (1948), citerad i Kolbe (1979).

tankar för att vätskenivån skulle hållas hög. De variationer som kunde iakttas under försöken låg maximalt inom ± 0.015 MPa, dvs ± 3 %, vilket medförde en flödesvariation inom aktuellt tryckområde på ca ± 1.5 %.

Sprutvätskan var vatten med tillsats av fluoriserande preparat, Helios 010 EC (A 710 2A) (Ciba Geigy). Därigenom får vätskan egenskaper som ligger nära normal sprutvätska.

Den valda spridarens beteckning är ALBUZ APT 212 (gul). Enligt icke officiella mätningar i material från Ciba-Geigy är VMD $200\text{ }\mu\text{m}$ ($15\% < 100\text{ }\mu\text{m}$, $35\% < 150\text{ }\mu\text{m}$, vid trycket 0.5 MPa , mätt med PMS Knollenberg-instrument) (Wehrli, 1988). Denna spridare valdes, då den ger en relativt liten andel droppar små droppar och en bred droppstorleksfördelning. Dessutom har den ett flöde som är anpassat till valda värden på körhastighet, hektargiva och spridarantal.

Spridarvalet kan diskuteras. Med enbart mycket små droppar dominerar lufrörelsens inverkan på avsättningen. Med en spridare som ger enbart stora droppar kommer droppens egen ursprungliga rörelseenergi och sedimenteringen att dominera. Den tidigare nämnda storlekssorteringen kommer att inverka och vidare kommer stora droppar med hög hastighet slås sönder till små droppar när de träffar trädets yttre delar. En sådan spridare skulle vara olämplig för försöken. En medelväg har alltså valts. Den aktuella spridaren används vid konventionell sprutning under liknande förutsättningar.

Sprutans fläktutlopp har två delar med fyra spridare i varje. Varje spridare går lätt att stänga av. Genom experiment med placering av objekt och bestämning av fläktvinklar observerades att:

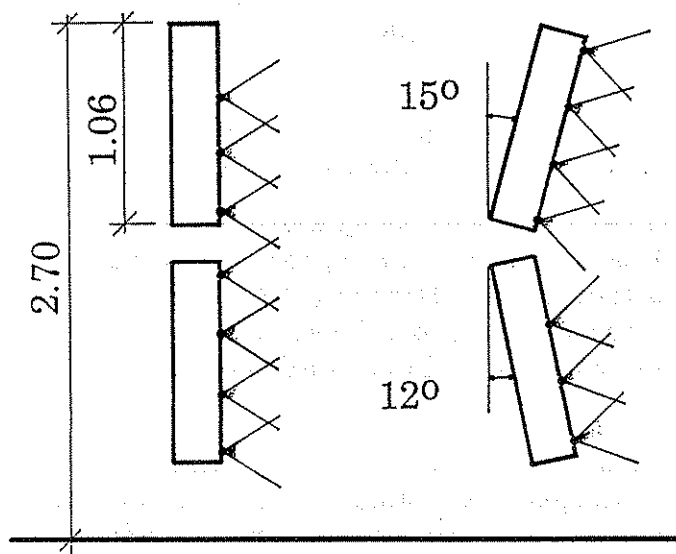
- * raka och vinklade fläktar kan inte täcka lika höga träd
- * vinklade fläktar fick en stark förhöjning av vätskefördelningen i vinkeln.

Detta löstes till en del genom att använda sju spridare för båda alternativen, men med olika placering i fläktutloppen enligt figur 27. På detta sätt erhöles samma droppstorlek och flöde för de båda alternativen. Spridningsbilden i fält för de olika fallen presenteras i avsnittet 5.6.1 Sprutornas vätskefördelning.

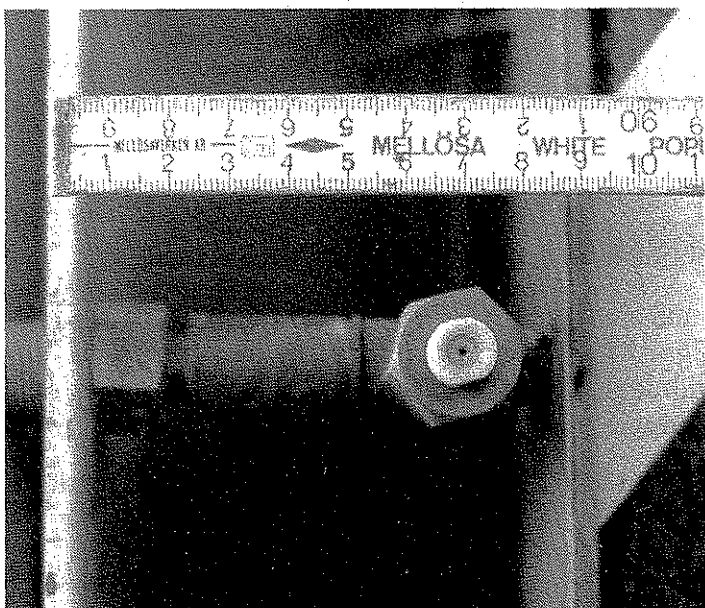
I luftutloppets tvärled sitter spridaren inte i luftutloppets centrum (se figur 28). Det föreligger dock inga skäl för att ändra spridarens placering. På de sprutor som säljs idag sitter spridaren i centrum.

Sprutans fläktar är av tvärströmstyp med ett tvärsnitt enligt figur 29. För att kunna vinklas har de byggts om med ett gångjärn mellan enheterna. Samtidigt har den mekaniska drivningen ersatts med hydraulisk.

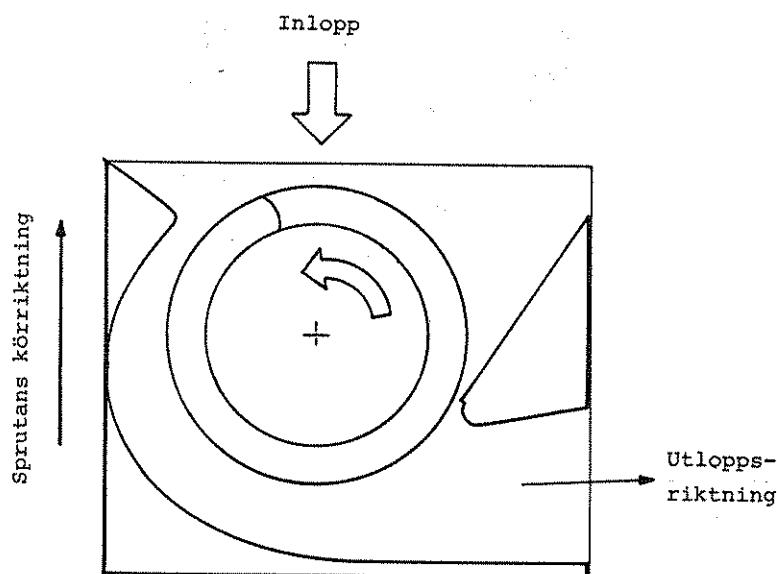
Genom ombyggnaden kom avståndet mellan enheterna i rakt läge att vara något större än i den ursprungliga konstruktionen (190 mm mot 150 mm). Huruvida detta påverkar lufthastighetsfördelningen har ej undersökts, men torde medföra att lufthastigheten i höjd med skarven blir något lägre än i den ursprungliga konstruktionen.



Figur 27. Spridarnas placering i de olika fallen.



Figur 28. Spridarens placering i luftutloppets tvärled.



Figur 29. Tvärsnitt av fläktenhet. Luftströmmens riktning vid 1470 rpm har markerats.

Inställningen av fläktarna bestämdes utgående från experiment utförda på sommaren 1989 i träd med fullt sommarbladverk. Trädets form överfördes till en gallerram, försedd med ulltrådar, för att kunna visa luftriktningarna. Trädets kronor hade, trots samma beskärningsprincip, utvecklats olika (se figur 30). Det var av denna anledning ej meningsfullt att använda "medelformen", utan den begränsning som innehöll "största trädets krona". Denna linje markerades i ramen. Ett utgångsläge för fläktarnas vinklar bestämdes i fält på samma träd, så att mittpunktsnormalerna möttes i trädets bortre del, i höjd med vinkelns spets (se figur 30). Denna inställning undersöktes och justerades sedan med hjälp av ramen i den uppställning som visas i figur 31.

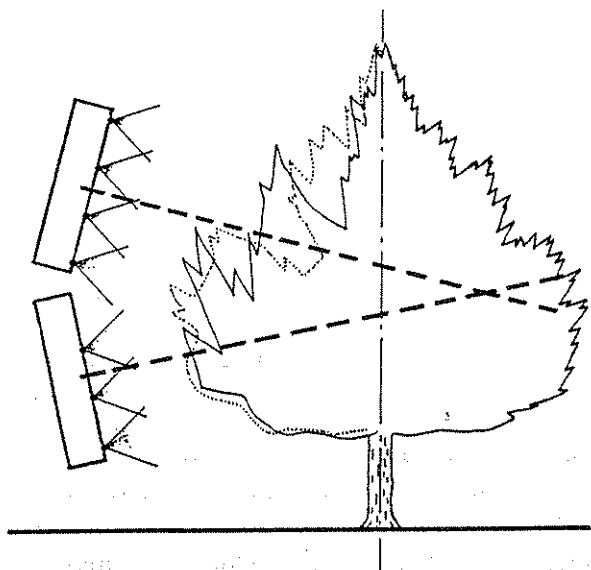
Man ser då att fläktarna i vinklat utförande (av enkla geometriska skäl) ej har samma räckvidd i höjd som de raka. Detta ledde dels till den ändring i spridarplacering som redovisats tidigare, dels till att positionerna för appliceringsobjekten anpassades som om trädet var lägre än det i verkligheten var (inga mätpunkter i den övre delen, se figur 32).

En appliceringsmätning genomfördes (Doruchowski & Svensson, 1989). Denna visade vid detta vegetationsstadium, att mätobjekten var placerade så att trädet täcktes in. Under vintern (1990-02-06, före beskärning) gjordes ytterligare en appliceringsmätning. Denna visade att den översta positionen i stort sett helt bomrades med vinklade fläktar. Detta innebar att, trots att objekten hade placerats som om trädet var lägre än i verkligheten, räckte de vinklade fläktarna inte till i höjddled. Den enda tänkbara anledningen till att provmätningen sommaren 1989 gav ett tillfredställande resultat är då att det täta bladverket spred vätskedropparna kraftigt.

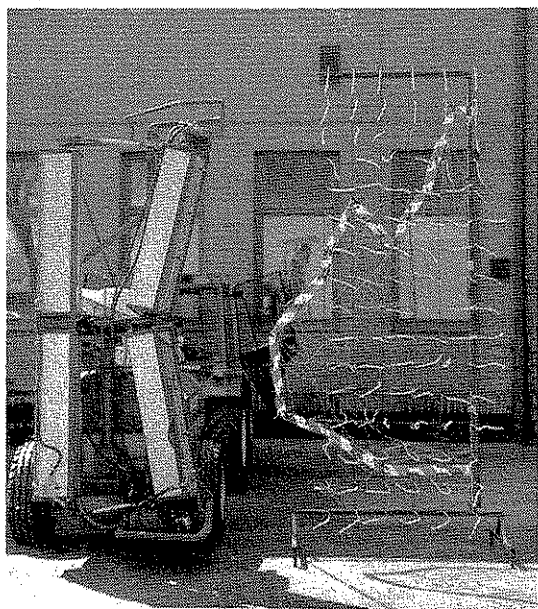
Nästa åtgärd blev att göra en kraftigare beskärning än normalt, framför allt på höjden, och att sänka objekten så att de blev jämnt placerade i trädet. Härvid utnyttjades erfarenheterna från de tidigare experimenten. Enligt konsultationer av beskärningskunniga kolleger har ej träden blivit onormala, tvärtom ansågs tidigare beskärningar ha varit alltför försiktiga med hänsyn till trädets egenskaper.

Det hade varit möjligt att öka vinkeln mellan fläktarna för att uppnå att högre träd kunde sprutas, men det ansågs inte lämpligt, eftersom det var viktigt för försöken att det fanns en tydlig skillnad mellan de två alternativa fläktarrangemangen.

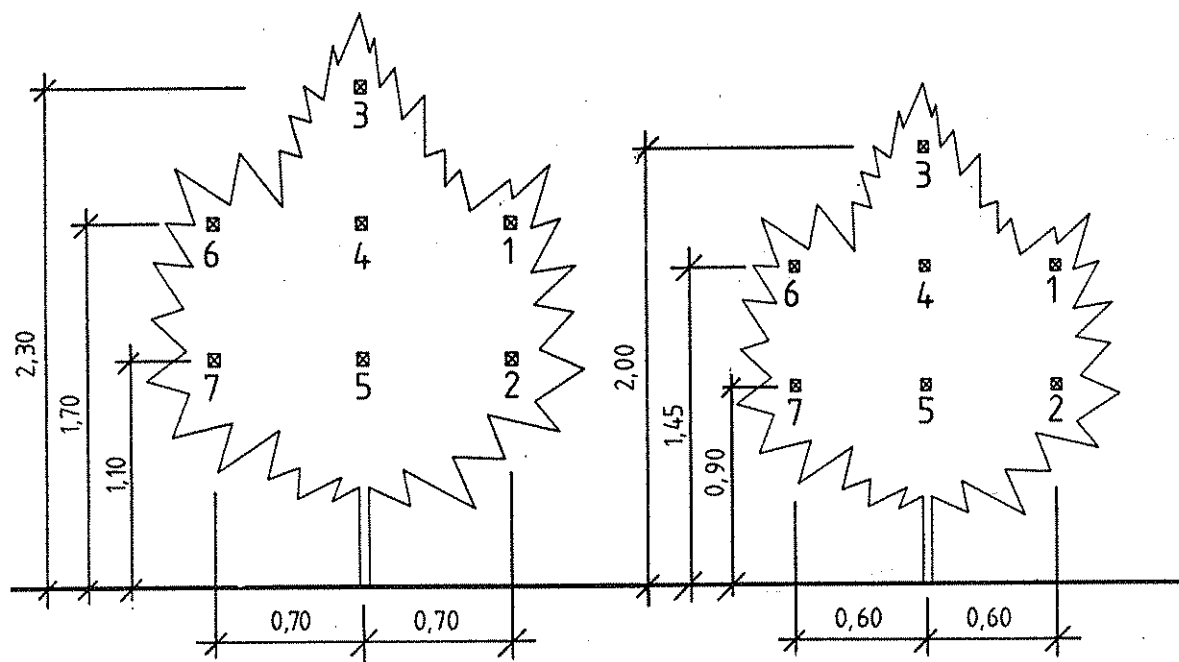
Det var svårt att anpassa träd och sprutor till varandra så att man fick optimala kombinationer, utan att riskera att något av alternativen blev missgynnat. Risker har beaktats och med de valda förutsättningarna torde den vara ganska liten.



Figur 30. Trädens form samt fläktinställningar.



Figur 31. Undersökning av luftströmmarnas utbredning med hjälp av ram med ulltrådar.



Figur 32. Objektens placering före och efter beskärning.

Som framgår av litteraturstudien, finns det resultat som visar att appliceringen blir bättre om luftströmmarna riktas 45° bakåt i horisontalplanet och att denna vinkel bör anpassas till bladverkets djup (von Oheimb, 1986). Att ändra vinkeln hade tillfört ytterligare en parameter i förutsättningarna och hade dessutom inneburit svårigheter i luft-hastighetsmätningarna. Därför valdes att låta utloppsriktningarna bilda 90° mot körriktningen. Eftersom luftströmsriktningen ej är helt parallell med utloppslinjen, utan beror på varvtalet, kommer luftströmmen att vara något riktad framåt (se figur 29).

Fläktvarvtalet har satts till 1470 varv/min. Föreskrivet varvtal ligger mellan 1400 och 1600 varv/min. Maximal hydraulkapacitet hos den först valda traktorn, i kombination med motorvarvtal, utväxlingsförhållanden och körhastighet, bestämde fläktarnas varvtal.

Varvtalet kontrollerades genom att sprutdatorns induktiva givare för körhastighet har monterades vid fläktaxeln. På datorns sifferfönster för körhastighet visades då fläktvarvtalet, uttryckt i varv/s. Under körning konstaterades små variationer ($\approx \pm 1\%$). Repeterbarheten var även mycket god.

Körhastigheten valdes till 6 km/h med utgångspunkt i tillverkarens rekommendationer (mellan 5 och 8 km/h). Hastighetsvariationen under sprutsträckan har uppmätts till $< \pm 1\%$. Mätning av medelhastighet med ny inställning av motorvarvtalet mellan varje mätning gjordes, vilket visar en repeterbarhet med avvikelser på ca $\pm 1\%$ (5.95 - 6.08 km/h). Variationerna i vätskeflöde/sträcka (hektargiva) var direkt proportionella mot variationen i körhastighet. Alla hastighetsmätningar gjordes på försöksplatsen.

Sprutan kördes mitt i radmellanrummet. Riktkäppar placerades ut för att säkerställa körlinjen. Åtgärder vidtogs för att fixera sprutans anslutning till traktorn i både sidled och höjddled.

5.3.3 Klimat

Temperatur och vindförhållanden noterades under experimenten. Nedanstående tabell utgör en sammanställning av dessa data. Vissa mätningar utfördes under en längre tidsperiod, under vilken klimatet ändrades. I dessa fall har medelvärdena angetts. I samtliga fall, utom 1990-02-06, har vindens inverkan varit i stort sett försumbar.

Tabell 4. Sammanställning av klimat under mättillfällena.

Datum 1990-	Kl	V i n d [m/s]	R i k t n	T e m p [°C]	T y p	Anm
02-06	11.00- 16.00	2.2	SSO	7.4	A	Vinden avtog från 3.1 till 1 m/s
04-25	21.00- 24.00	0.2	-	7.6	A	
05-03	06.00- 10.30	0.8	-	17	A	Dokumentering av sprutornas vätskefördelning
05-09	11.00- 21.00	0.8	NV	16	L	Temperaturen varierade mellan 14 och 21 °C, vindhastigheten sjönk från 1.5 till 0 m/s
05-21	19.00- 22.00	0.6	-	13	A	Temperaturen sjönk från 15 till 11 °C
06-11	19.00- 21.00	0.5	-	18	A	Mätning bakom träd
06-12	21.00- 23.00	0	-	18	A	
06-13	21.30- 23.00	0.8	-	14.5	A	Mätning bakom träd
07-04	07.00- 21.00	1.0	V	16	L	Temperaturen varierade mellan 14 och 21 °C
09-27	10.00- 14.00	0.8	-	10	A	

A: Appliceringsmätning

L: Lufthastighetsmätning

5.4 Metod för appliceringsmätning

Den biologiska effekten är beroende av appliceringsgraden, måttet på hur väl sprutvätskan har applicerats på växten. Därför är denna parameter en viktig sammanfattande indikator för effekten av andra tekniska och biologiska parametrar. Indikering av applicering kan ske på olika sätt och i litteraturen finns många förslag. Det vanligaste är att man förser sprutvätskan med någon indikatorsubstans. Blad eller artificiella mätobjekt samlas sedan in och analyseras (Didio, ?, Byass, 1969, Sharp, 1974, Thornhill, 1982, Smith et al, 1983, Bordovsky & Lyle, 1985, Whitney & Roth, 1985, Cayley et al (1987), Brazee et al, 1989, Van Ee & Ledebuhr, 1989 samt Doruchowski & Svensson, 1990).

Indikatorsubstansen kan vara en starkt lysande färg eller ett lättidentifierat metallsalt. Det vanligaste ämnet som har använts hittills, är HELIOS (från Ciba Geigy), ett ämne som vid belysning med ultra-violett ljus fluorescerar. För både metallsalter och fluorescerande preparat sker mätningen genom att ämnet tvättas av mätobjekten, varefter lösningen analyseras med någon form av mätinstrument.

Den enklaste redovisningen är ett medelvärde, t ex indikatorsubstans/objektyta. Ett annat mått är täckningsgrad, dvs hur stor del av bladytan som är täckt av sprutvätskan. Genom att ta prov på olika ställen i bladverket kan man få en bild av hur fördelningen ser ut.

I tidigare försök (Svensson, 1988) har använts vattenkänsligt papper som vid analys i bildbehandlingsutrustning gav ett resultat som visade den relativa mängden preparat/objektyta. Det är i och för sig möjligt att använda denna metod, men bearbetningen är tidskrävande. Man använder inte direkta mätmetoder, utan måste gå omvägar. Med praktisk erfarenhet av tänkbara felkällor, torde resultatet knappast bli bättre än om man använder filtrerpapper och fluorescerande preparat. Den extra informationen som det vattenkänsliga papperet kan ge om droppriktningar mm, är både svårfångad och svårtydd.

I litteraturen finns ett antal förslag på lämpliga uppfångningsytor. I princip kan man välja mellan att använda naturliga blad och artificiella mätobjekt. I mätningarna har använts artificiella mätobjekt. Det finns främst två anledningar till detta. Om man använder många upprepningar och plockar av verkliga blad, kommer till slut trädets egenskaper att ändras. Det andra skälet är att vid avtvättningen av riktiga blad är man hänvisad till att använda starkt hälsovådliga ämnen. Man kan heller inte utesluta påverkan från naturligt förekommande fluorescerande ämnen.

5.4.1 Val av indikator

Eftersom målet med mätningarna var att studera appliceringen i olika delar av trädets, användes metoden med fluorescerande ämne.

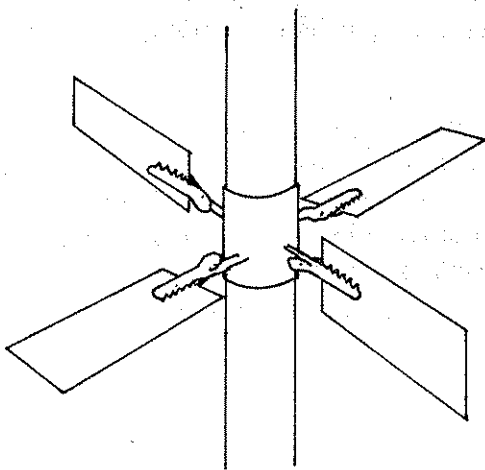
Som tankblandning användes till en början 0.8 l LV-Conc HELIOS (10 g fluorescerande ämne per liter) till 100 l vatten. Eftersom analysnivån blev hög och behovet av högre vätskenivå i tanken hade konstaterats, ändrades blandningen efterhand till 0.8 l HELIOS till 140 l vatten.

5.4.2 Val av mätobjekt

Vid de inledande försöken 1989 (Durochowski & Svensson, 1989) studerades två olika material som mätobjekt; filtrerpapper (Munktell filtrerpapper nr 5) och Mylar film (Matton Ritfilm D-318). Det förstnämnda hade använts i ett antal tidigare undersökningar och valet av det senare baserades på information från Michigan State University (van Ee & Ledebuhr, 1989). Enligt Metz (1986) har filtrerpapper ytegenskaper som är ett mellan-ting mellan äppelbladens över- och underyta, medan plastfilmen mer liknar bladets över-sida.

Filtrerpapper valdes, eftersom avtvättningen från plastfilmen var betydligt besvärligare. Vid insamlingen plockas fyra mätobjekt i en behållare och vid analysen hälls tvättvätska i behållaren. Plastobjekten sugas då av kapillärkraften samman, vilket ställer stora krav på tvättrutinerna. Sådana problem observerades ej för filtrerpapperna.

Som framgår av tidigare avsnitt, har formen och storleken på mätobjekten avgörande inverkan på uppfångningseffekten och på storleken av de droppar som uppfångas. Eftersom syftet med mätningarna var att mäta hur mycket som avsattes i trädet, var det viktigt att filtrerpapperna hade egenskaper som liknade bladverkets. Storleken på papperna valdes till 25 x 60 mm, vilket ligger nära bladens storlek. Papperna hade ej samma form som bladen, utan var rektangulära. Filtrerpapperen fästes i krokodilklämmor (enligt Quinn & Farsaie, 1985). Pappernas mjukhet gjorde att de i ett plan kunde böja sig i luftströmmen som ett blad. Däremot kunde de ej rotera kring sin längdaxel. För att få ett sannare värde på grund av orienteringen, fästes fyra papper i olika riktningar i varje position. Mätningen av appliceringen på dessa papper bildade ett medelvärde för positionen. Därigenom blev värdet mer representativt för en volym i bladverket än en punkt (se figur 33).



Figur 33. En mätposition med filtrerpapper.

Bladverket förändrar sina egenskaper under året. Därför kan det vara tveksamt att använda samma typ av mätobjekt under hela odlingssäsongen. Denna invändning gäller framför allt den mätning som gjordes 1990-04-25 på stadiet 'ballong'. Trädens blad var då mindre än mätobjekten. Vid appliceringsmätningen 1990-02-06 användes stålstavar med diametern 6 mm och längden 35 mm för att efterlikna trädens grenar.

Vid de mätningar som gjordes för att mäta mängden vätska som passerade genom trädet och för att dokumentera vätskefördelningen utan träd, skulle mätobjekten varit utformade för att fånga maximal vätskemängd, dvs utgjorts av ett större antal mycket små objekt, t ex piprensare eller glasfibrer. Dessa mätningar får därför bedömas i sken av detta.

5.4.3 Placering av mätobjekt

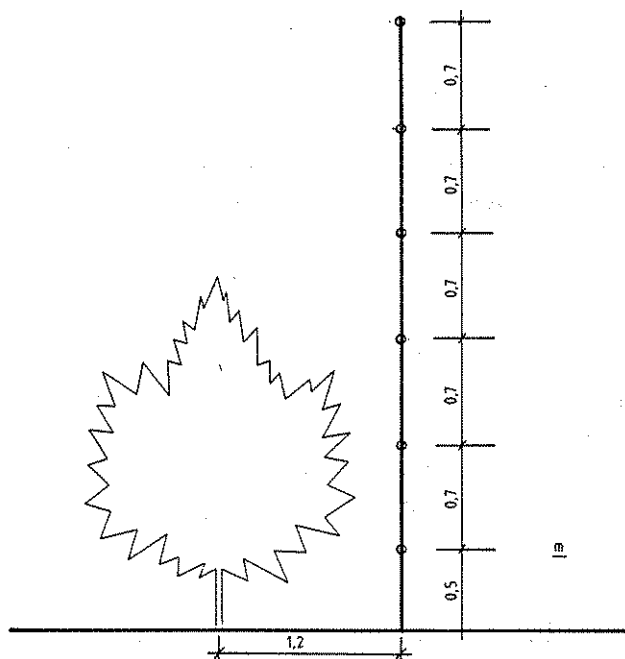
Mätobjekten (filtrerpapper) skall placeras så att de ger en bild av avsättningen i trädet. Med tanke på vad som sagts tidigare om begränsningar i antalet positioner, koncentrerades placeringen till ett plan genom trädets bredaste del, vinkelrätt mot körriktningen. I trädets övriga delar sker inträngningen lättare. Antalet positioner fastställdes till sju, som placerades på ett sådant sätt att det var möjligt att se gradienter i trädet i två riktningar (se figur 32).

Objekthållarna sattes på stålrör, som fick stå kvar i samma position under hela året. Därigenom ändrades mätobjektens positioner ej mellan de olika försöksomgångarna.

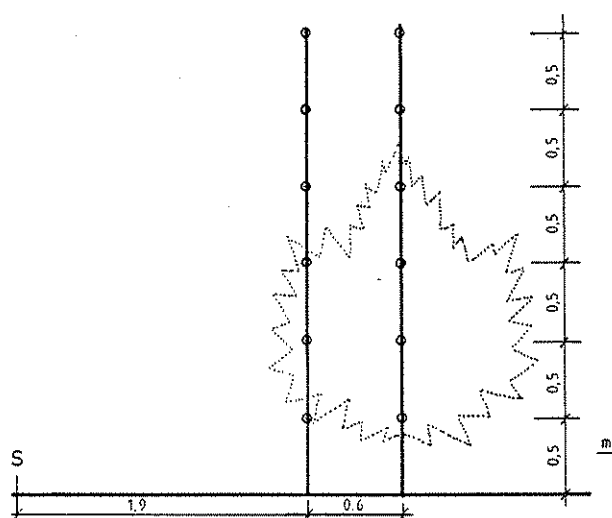
Positionerna i de olika träden var ej exakt desamma, eftersom grenverket i vissa fall förhindrade detta. Avvikelsena är dock ej mer än ± 5 cm i höjddled. Vid ett av träden var markytan vid ena sidan lägre och eftersom höjderna utgick från denna, har två positioner kommit ca 5 cm för lågt i förhållande till trädet och de övriga positionerna. Detta upptäcktes tyvärr ej förrän i efterhand.

För att uppskatta hur mycket av sprutvätskan som passerade trädet och fördelningen i höjddled av denna, monterades mätobjekt bakom trädet enligt figur 34. Endast ett försök utfördes och endast två träd användes.

För att få kunskap om vätskefördelningen för de olika sprutalternativen, gjordes en mätning utan träd enligt figur 35. Sprutornas inställningar och körhastighet samt mätobjekt var de samma som vid de övriga försöken.



Figur 34. Placering av mätobjekt vid mätning av vätskefördelning bakom träd. Sprutning från vänster.



Figur 35. Uppställning för dokumentation av sprutornas vätskefördelning. Sprutning från vänster. S = sprutans centrum. Ett tänkt trädets position är markerad.

5.4.4 Insamling av mätobjekt

Direkt efter sprutningen samlades filterpapperna in. De plockades i plastbehållare med volymen 40 ml. I de flesta fallen kunde papperna placeras i behållaren utan att vidröras. I varje behållare placerades de fyra filterpapperna från en position. Varje behållare var numrerad i förväg med försöksnummer, träd och position och risken för förväxling bedöms som minimal. Efter insamling förvarades behållarna mörkt och svalt.

5.4.5 Utvärdering

Utvärderingen av avsättningen gjordes med Ciba Geigy Fluorimeter PFM2, i enlighet med tillverkarens anvisningar. Som tvättvätska användes isopropanol. Uppmätt mängd tillsattes direkt i behållarna, varefter tvättningen gjordes genom att dessa skakades på ett kontrollerat sätt. Vätskan överfördes i kyvetter som placerades i instrumentet och mättes.

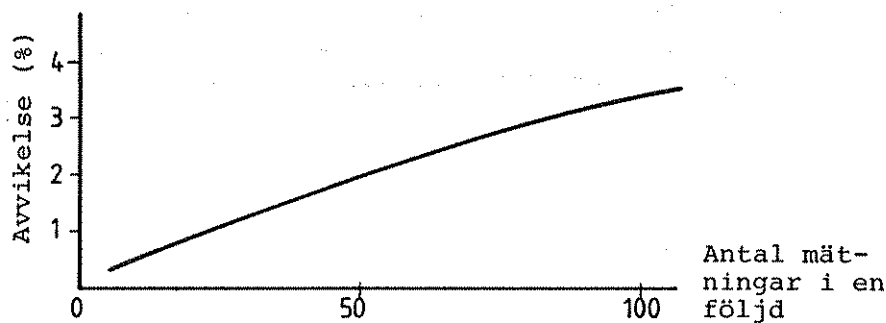
5.4.6 Felkällor

De spruttekniska faktorerna dubbelkontrollerades i fält (motorvarvtal, växel, fläktvarvtal, tryck, öppna spridare mm).

I samband med uppsättning och insamling av filtrerpapperna finns en risk för att dessa kontamineras i samband med hanteringen. Detta undveks så långt möjligt och risken undersöktes även genom att ett antal filtrerpapper sattes upp, sprutan körde förbi med fläktarna igång, men med stängda munstycken, varefter papperna togs ned. Analysen visar att i genomsnitt erhöles värdet $2.8 \mu\text{g/l}$, att jämföra med en normal sprutomgångs medelvärde på $150 \mu\text{g/l}$ (2 %). Endast i ett fall kunde konstateras en kontaminering som var större än 3 % av medelvärdet. I bearbetningen av mätvärden har det därför inte ansetts nödvändigt att kompensera för kontamineringen.

Mätningarna med fluorimetern skedde som absoluta mätningar. Detta innebar att instrumentet kalibrerades med nollprov (ren isopropanol) och en blandning som innehöll $100 \mu\text{g}$ fluorescerande ämne per liter. Denna blandning (sk standardlösning) tillreddes enligt instrumenttillverkarens anvisningar och prov från samma blandning användes för samtliga analyser. Vid kalibreringen av instrumentet är det inte helt lätt att ställa in exakt värde, men före och efter varje analys av de enskilda försöken registrerades värdena från kalibreringsproverna. Dessa värden har använts för att kompensera för kalibreringsjusteringen. I samband därmed kontrollerades även praktiskt att kalibreringsfelet inverkar proportionellt.

Det visade sig att instrumentet drev något under en analysomgång. Varje omgång omfattade som mest 105 avläsningar (7 pos x 5 träd x 3 avläsningar). Direkt efter omgången mättes ett antal prov om, inklusive kalibreringskyvetterna. Den uppmätta differensen användes för att konstruera en kurva för att kompensera för instrumentets drift. Mätningarna gjordes i omgångar, vilket innebar att instrumentet däremellan återgick till grundnivån. Detta konstaterades genom att samma kyvetter med 0-prov och standardlösning kontinuerligt mättes före och efter varje omgång. Exempel på diagram för instrumentdrift visas i figur 36. Som utgångspunkt för avvikelserna har ansatts de först avlästa värdena.



Figur 36. Exempel på drift hos mätinstrumentet.

Mängden tvättvätska mättes med en precisionsdispenser. Beroende på att koncentrationen i tankblandningen varierade mellan de olika försöksomgångarna, fick tvättvätskans mängd också varieras, så att avläsningarna hamnade inom instrumentets linjära del. Efter varje körning i fält togs prov på tankblandningen, som användes för att likställa de olika försöksomgångarna med varandra. I resultaten från mätningarna 1990-04-25 -- 1990-09-27 har tagits hänsyn till detta, varför redovisade resultat från dessa omgångar är jämförbara.

Det har noterats att kyvettens glaskvalitet kan inverka på avläst värde i fluorimetern (Brazee et al, 1989). Av denna anledning undersöktes kyvetterna och de sorterades så att en och samma glaskvalitet användes. Det visade sig att trots kyvetterna hade samma beställningsnummer, kunde man iaktta olika färg på två partier. Även om påverkan på avläsningen var mycket liten, kunde den konstateras.

För att inte oregelbundenheter i glaset skulle ha någon inverkan, gjordes tre avläsningar av varje kyvett. Mellan två av dessa vreds kyvetten. De tre avläsningarna gjordes även för att öka avläsningens noggrannhet och för att minska risken för avläsningsfel.

Tvättningens effektivitet undersöktes genom att proverna, efter den ursprungliga skakningen (skakning 1 min, paus 3 min, skakning 1 min), fick stå kvar under några timmar, varefter förnyad skakning skedde. Ingen nämnbar förändring kunde mätas.

Pappersflock lossnade från filtrerpapperna i samband med skakningen och observerades i kyvetterna. Flocket sedimenterade mycket snabbt under den nivå där mätningen skedde. För kontroll filtrerades vätskan och undersöktes, dock utan att någon nämnvärd skillnad konstaterades.

5.4.7 Sammanfattning

En schematisk redovisning av försökens uppläggning och en sammanfattning av förutsättningarna lämnas nedan. Det bör observeras att uppläggningsen av försöket 1990-02-06 (stålobjekt, annan trädform och andra positioner) och ett av försöken 1990-09-27 (två sidor sprutade) skiljer sig från de övriga.

Tabell 5. Förutsättningarna för mätning av applicering.

Hektargiva	200 l/ha (nominellt)
Spridare	Albuz APT 212 (gul)
Antal spridare	7 st
Tryck	0.47 MPa
Droppstorlek	VMD 200 µm
Vätska	Vatten + Helios (6 - 8 g fluorescerande ämne per 100 l vatten)
Fläktar	Tvärströmsfläkt (HOLDER)
Vinklar	0° resp 12° och 15° vertikalt; 90° horisontellt
Varvtal	1470 rpm
Körhastighet	6 km/h
Antal träd	5 st (3 st 1990-09-27)
Typ av träd	Katja på A2, Slank-fri spindel, höjd: 2.2 - 2.3 m, bredd: 1.8 - 2.0 m
Positioner/träd	7 st
Mätobjekt	Filtrerpapper (25 x 60 mm), 4 st/position (1990-02-06: stålstavar 6 x 35 mm, 4 st/position)
Utvärderings-instrument	Fluorimeter (PFM2, Ciba Giegy)
Tvättvätska	Isopropanol

Tabell 6. Schematisk beskrivning av försöksuppläggnings för huvuddelen av appliceringsmätningarna. Sprutning från en sida.

Behandling 1					Behandling 2					Tid	Datum 1990-
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	Tb1	04-25
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	Tb2	
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	Tb3	
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	Tb1	05-21
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	Tb2	
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	Tb3	
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	Tb1	06-12
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	Tb2	
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
T1	T2	X	T4	X	T1	T2	X	T4	X	Tb1	09-27
T1	T2	X	T4	X	T1	T2	X	T4	X	Tb2	
T1	T2	X	T4	X	T1	T2	X	T4	X	Tb3	

Behandling 1: Raka fläktar

Behandling 2: Vinklade fläktar

T1 - T5: Träd nr

I varje träd finns sju positioner, samma placering i alla träd

Tb1 - Tb3: Tidsblock nr (upprepning nr)

Behandlingsordning inom varje försök: 1 2 / 2 1 / 1 2 eller 2 1 / 1 2 / 2 1

X: Bortfall (06-12: pga försöksfel; 09-27: träden T3 och T5 har medvetet valts bort för att ge utrymme åt mätningar med 13 positioner per träd i en del tilläggs-mätningar)

Tabell 7. Schematisk beskrivning av försöksuppläggningsen för appliceringsmätningen 1990-02-06 (nakna träd, mätobjekt: stålstavar). Beteckningar enligt föregående tabell. Sprutning från en sida. **Observera** att trädens storlek och positionernas placering skiljer sig från övriga appliceringsmätningar.

Behandling 1					Behandling 2					Tid	Datum 1990-
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	Tb1	02-06
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	Tb2	

Tabell 8. Schematisk beskrivning av försöksuppläggningsen för appliceringsmätningen 1990-09-27. Beteckningar enligt tabell 6. Sprutning från **båda** sidorna.

Behandling 1					Behandling 2					Tid	Datum 1990-
T1	T2	X	T4	X	T1	T2	X	T4	X	Tb1	09-27
T1	T2	X	T4	X	T1	T2	X	T4	X	Tb2	

5.5 Metod för lufthastighetsmätning

Mätningar av lufthastighet i bladverk finns redovisade i litteraturen. De flesta mätningar har gjorts i stationärt läge, dvs sprutan parkeras framför trädet och mätning sker i olika punkter i trädet (t ex Rosswag, 1985). Lufthastighetsnivå och -fördelning påverkas emellertid av sprutans rörelse i körriktningen, varför en stationär mätning innebär att den uppmätta hastigheten blir högre än under besprutningsförhållanden. Randall (1971) och Fox et al (1984) har genomfört mätningar av de maximala lufthastigheterna i träd under verkliga förhållanden.

Lufthastigheten beskrivs både av storlek och riktning och påverkas av körhastigheten, jfr figur 20. Av litteraturen framgår emellertid inte vilka komponenter (förutom maxhastigheten) som påverkar avsättningen i bladverket under realistiska förhållanden. En hypotes är att förutom maxhastigheten, har även varaktigheten inverkan på avsättningen. Lufthastigheten i en punkt under en viss tid är knuten till energinnehållet hos luftströmmen, som påverkar dess förmåga att öppna bladverket och transportera dropparna. Hastighetsintegralen, som den är markerad i figur 40, är relaterad till energi. Vidare är det troligt att bladverkets samverkan med luftströmmen uttrycks av hur hastigt lufthastigheten stiger respektive avtar. Slutligen är det troligt att turbulensintensiteten kan ha inverkan på avsättningen.

Sammanfattat kan sägas att det ej är klarlagt hur lufthastighetens olika komponenter inverkar på avsättningen i ett bladverk och heller ej deras eventuella inbördes påverkan.

5.5.1 Val av givare

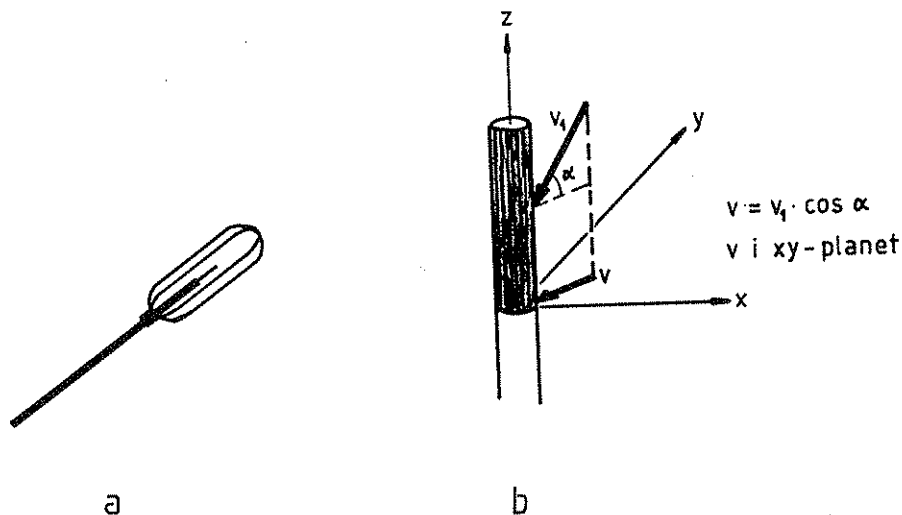
Mätmetoderna, och därmed givarna, måste väljas så att man hinner registrera de snabba variationer, som uppträder under den korta tidsperiod som sprutan kör förbi trädet. Vinghjulsanemometrar och andra givare med rörlig massa är uteslutna, eftersom de har för stor tidskonstant. Varmtråds- eller varmfilmsanemometrar har däremot en liten tidskonstant, vilket medger hög mätfrekvens.

Anemometrar är normalt riktningskänsliga, vilket ställer till bekymmer när man skall bestämma mätriktningen. Speciellt inne i trädet är luftströmmarna starkt turbulenta, vilket innebär att de snabbt ändrar storlek och riktning. I det aktuella fallet finns trots detta en förhärskande luftriktning. För att göra en exakt mätning i en punkt bör lufthastigheterna mätas samtidigt i tre riktningar och resultanten beräknas. Man blir då hänvisad till att använda varmtrådsanemometrar med tre mätkanaler. Dessa är dessvärre mycket känsliga för smuts och mekanisk åverkan samt ställer stora krav på utvärderingen. Ett annat alternativ kan vara en riktningsokänslig anemometer. Sådana existerar, men har tyvärr för stor tidskonstant för att kunna användas.

I ett inledande skede provades en typ av varmfilmsgivare med tre kanaler, vilket medger mätning av hastighetsvektorn till storlek och riktning i ett plan vinkelrätt mot givaren. Givaren krävde avancerad kringutrustning och framför allt en mycket omfattande kalibrering. Detta krävde för stora resurser och i stället valdes två enklare, separata varmfilmsanemometrar. Härigenom kan lufthastigheten i två punkter i trädet registreras samtidigt.

Den valda givaren är utformad som en smal stav, diameter ca 0.3 mm, längd 11 mm (se figur 37) och har endast en mätkanal. Givaren är kalibrerad för att lämna ett korrekt värde så länge hastighetens vektor ligger i xy-planet (vinkelrätt mot givaren). Har luftströmmen en vinkel mot planet, erhålls ett värde som är multiplicerat med cosinus för infallsvinkeln. Av det erhållna värdet kan således ej avgöras vilken riktning luftströmmen har. Givaren har i stället placerats så att den mäter storleken i det plan, som bedömes innehålla den förhärskande luftriktningen.

Givarna är kalibrerade vid leveransen och behöver ej kalibreras vid varje mätning. För att skydda givarna mot mekanisk åverkan, försågs de med ett mycket glest skydd. Insamlingen gjordes med en persondator (Victor V286A), multifunktions in/ut-kort (RTI-800/815 från Analog Devices) samt ett insamlingsprogram skrivet i ASYST (Asyst Software Technologies, Inc). Mätfrekvensen var 50 Hz och mätdata insamlades under en 20 sekundersperiod.



Figur 37. Varmfilmsanemometer som har använts i försöken (en kanal).
a) med hållare och skydd b) detalj

Tabell 9. Data för lufthastighetsgivare.

Fabrikat:	TSI
Typ:	8460
Noggrannhet:	$\pm 1.5 \%$ av avläst värde, $\pm 0.5 \%$ av fullt skalutslag
Svarstid, flöde:	0.1 s
Mätområde:	0 - 20 m/s
Utsignal:	0 - 5 V (Utsignalen linjär, proportionell mot lufthastigheten)

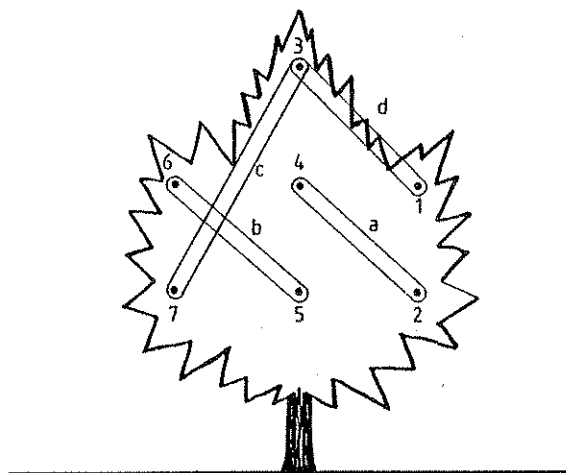
5.5.2 Placering av givare

En strävan har varit att placera lufthastighetsgivarna i samma positioner som vid appliceringsmätningarna. Dock skulle stativ och hållare störa luftströmmen, varför positionerna förskjutits ca 5 cm. Givarna riktades parallellt med raden, dvs de mäter korrekt i ett plan vinkelrätt mot trädraden. Eftersom lufthastighetsgivarnas hållare är ganska stora, skulle de störa varandra om de satt på samma horisontella linje. Av möjliga kombinationer har fyra valts ut så att samtliga positioner finns med minst en gång (se figur 38). Vid mätningarna bestämdes ordningen och vilken givare som skulle sitta i vilken position slumpmässigt.

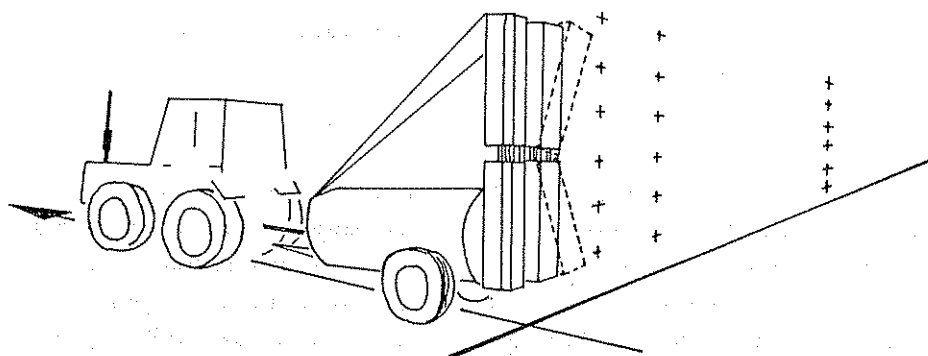
Flyttningen av givarna mellan olika positioner var tidskrävande, vilket inverkade på försöksuppläggningsen, vilken lättast beskrivs av tabell 11.

För att dokumentera luftrörelserna för de två fläktalternativen har lufthastigheten utan inverkan av träd och i stort sett utan inverkan av körhastighet registrerats. Mätmetoden är i stora drag samma som redovisas av von Oheimb (1986), vilket innebär att en lufthastighetsgivare (i detta fall en varmfilm-anemometer) flyttas mellan olika punkter i ett vertikalt plan, vinkelrätt mot körriktningen (se figur 39). Givaren registrerar korrekt lufthastighet i planet som är vinkelrätt mot körriktningen. Sprutekipaget kör extremt långsamt (0.3 m/s) förbi givaren under mätningen. Härigenom kommer man till en viss

del ifrån de felaktigheter som uppstår vid stationär mätning, samtidigt som noggrannheten i mätdata ökar, jämfört med att köra med full körhastighet. Tre mätningar per mätpunkt och fläktalternativ utfördes. Vid utvärderingen av dessa mätningar användes enbart ett medelvärde av den maximala lufthastigheten. Se vidare nästa avsnitt och figur 40.



Figur 38. Använda kombinationer av givarpositioner. a - d: beteckningar på givarkombinationer för tabell 11.



Figur 39. Uppställning för dokumentation av lufthastighet utan träd. X = mätpositioner.

5.5.3 Utvärdering

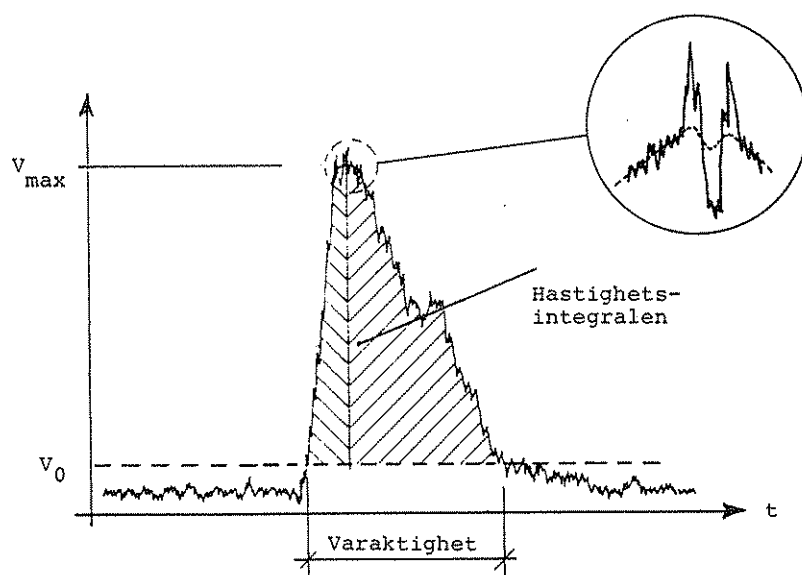
I målet för forskningsuppgiften anges "att studera och klarlägga appliceringens beroende av luftströmmens karaktär...". I den framtida fortsättningen av arbetet kommer appliceringsvärdena att knytas till lufthastighetsvärdena för att därigenom klarlägga sambanden.

De komponenter som kommer att analyseras är: maxhastighet, hastighetsintegral, varaktighet och symmetri. I denna rapport redovisas endast den inledande fasen av arbetet, nämligen en del av värdena för den maximala lufthastigheten. Inga statistiska bearbetningar har ännu gjorts.

I figur 40 återges det principiella mätförloppet vid en mätning i träd. Man kan se "brusnivån", dvs störning från den naturliga vinden, den snabba hastighetsstigningen när sprutan når fram till trädet och den långsammare sänkningen när sprutan har passerat.

Det framgår att maxhastigheten inte är helt entydig. Råsignalen uppvisar högfrekvent brus, orsakat av turbulens i luftströmmen. Detta har filtrerats bort med ett lågpasfilter med en gränshfrekvens av 5 Hz. Valet av gränshfrekvens påverkar utseendet på den filtrerade kurvan och därigenom även värdet på maxhastigheten. Närmare analys av mätdata måste göras för att fastställa den lämpligaste gränshfrekvensen. Se detaljbild i figur 40, som visar ett exempel på besvärligt kurvutseende.

För att sortera bort de värden som härrör från den yttre vinden har nivån V_0 lagts in. Hastighetsvärden under denna nivå har ej beaktats i utvärderingen.



Figur 40. Lufthastigheten (V_L) som funktion av tiden (t). Mätning i träd.

V_{max} = representativt värde på maxhastigheten. V_0 = nivå, som läggs in för att skilja bort inverkan från yttre vind. Detaljbilden visar ett exempel på ett besvärligt kurvutseende.

5.5.4 Felkällor

Den viktigaste felkällan gäller förhållandet mellan givarens och luftströmmens riktning. Givaren mäter korrekt endast så länge luftströmmens riktning ligger i ett plan, vinkelrätt mot trädraden. Normalt ligger luftströmmens riktning också i detta plan. Det finns dock en risk för att bladverket kan ändra riktning på luftströmmen. I dessa fall registreras en hastighet som är mindre än den verkliga. Det föreligger en svårighet att avgöra när detta sker.

Luftens densitet ändras med temperatur och lufttryck, vilket påverkar hastighetsvärdet, men kan kompenseras enligt ett givet samband.

Risken för förväxlingar av givare och position minimerades genom att de dubbelkontrollerades. Andra mätfel borde ej förekomma, eftersom en kurva på mått hastighet visades momentant på skärmen under mätning. Vid elektronikfel erhöles normalt inga värden alls, och knappast en felaktig, men välliknande kurva. Mellan varje omgång mättes den naturliga vinden i de positioner där givarna satt. Detta ger även en kontroll på funktionen.

Slutligen kan en ansamling av smuts på givaren orsaka felaktiga värden. Givarnas användningstid är hittills ganska kort och felaktiga värden som påverkar hastighetsbilden torde inte förekomma.

5.5.5 Sammanställning av metoder för lufthastighetsmätning

En sammanfattning av förutsättningarna för lufthastighetsmätningarna och uppläggen av försöken lämnas nedan.

Tabell 10. Förutsättningarna för mätning av lufthastigheter i träd.

Fläktar	Tvärströmsfläkt (HOLDER)
Vinklar	0° resp 12° och 15° vertikalt; 90° horisontellt
Varvtal	1470 rpm
Körhastighet	6 km/h
Antal träd	5 st
Typ av träd	Katja på grundstam A2, slank-fri spindel, höjd: 2.2 - 2.3 m, bredd: 1.8 - 2.0 m
Positioner/träd	7 st
Givare	Varmfilmsanemometer (TSI 8460), 2 st, kombinerade enligt tabell 11
Mätfrekvens	50 Hz
Insamlingsperiod	20 s

Tabell 11. Beskrivning av uppläggnings av lufthastighetsmätningarna i träd.

Mätning nr	Givar-kombination	Fläkt-inställning	Antal upprepningar
1 - 3	a	R	3
4 - 6	a	V	3
7	a	Kontroll	1
8 - 10	b	V	3
11 - 13	b	R	3
14	b	Kontroll	1
15 - 17	c	R	3
18 - 20	c	V	3
21	c	Kontroll	1
22 - 24	d	V	3
25 - 27	d	R	3
28	d	Kontroll	1
.	Därefter nästa träd osv		

Givarkombination a - d: enligt figur 38

R, V: Rak respektive vinklad fläktinställning

Kontroll: Mätning utan att sprutan kör förbi

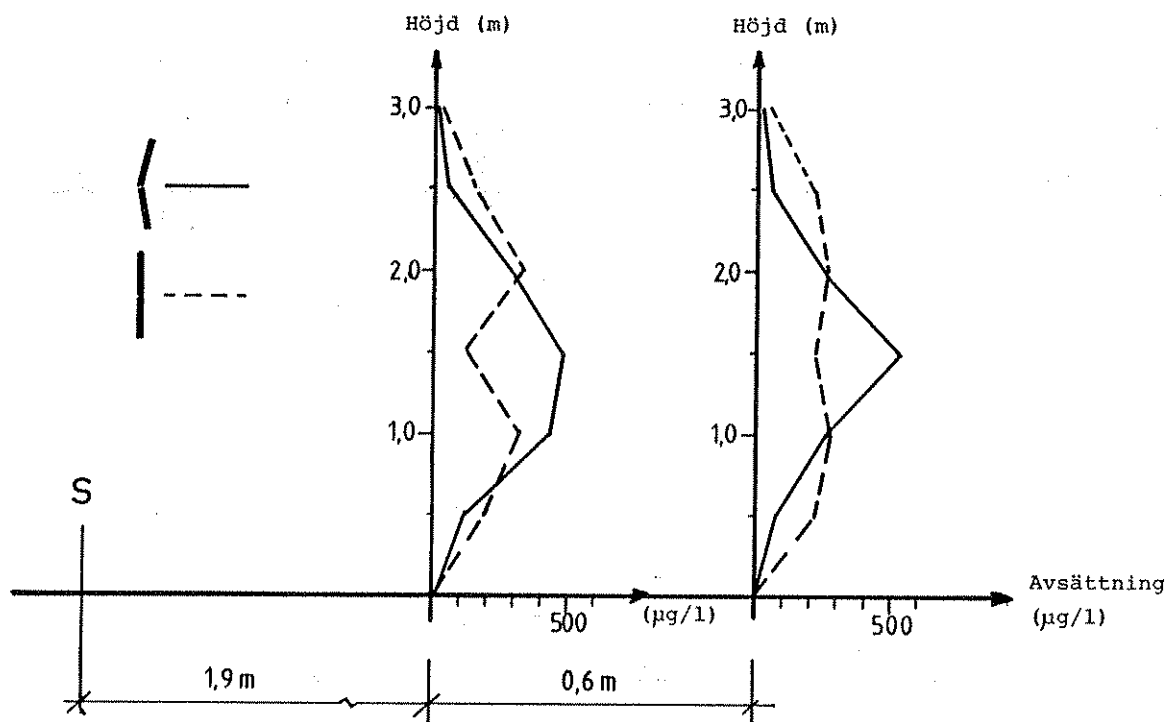
5.6 Resultat av appliceringsmätningarna

5.6.1 Sprutornas vätskefördelning

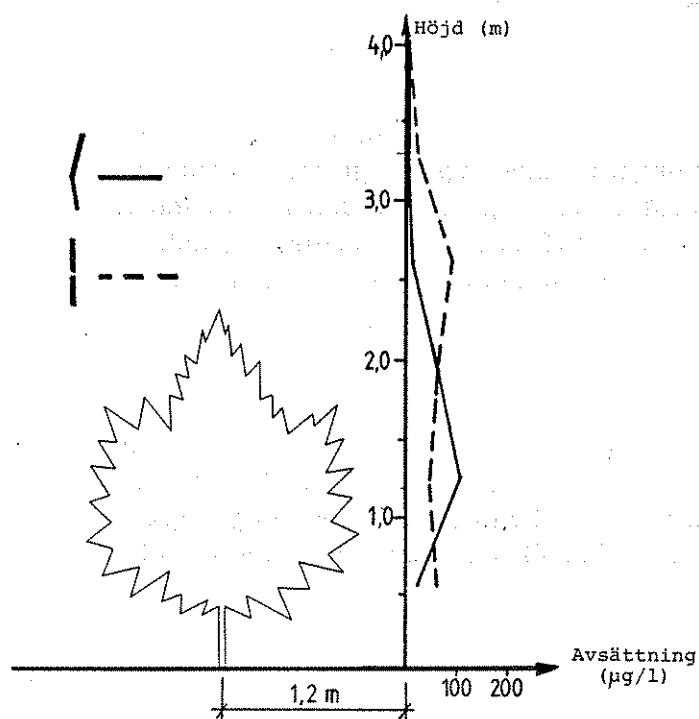
Vätskefördelningen för de två sprutalternativen utan inverkan från träd presenteras i figur 41. Det framgår att vätskefördelningarna skiljer sig tydligt. De vinklade fläktarna får en fördelning som innebär en koncentrerings i höjd med vinkelns spets, medan de raka fläktarna visar en minskning i samma punkt. Effekten förstärks med stigande avstånd från utloppet för de vinklade fläktarna, medan den försvagas för de raka fläktarna.

5.6.2 Mätning bakom träd

Resultatet från appliceringsmätningarna bakom träd presenteras i figur 42. Som framgår av figuren, sprids sprutvätskan högre upp för alternativet med raka fläktar. Större mängd sprutvätska passerar genom trädet för vinklade fläktar, men på betydligt lägre höjd (under trädtoppshöjd). Detta innebär att risken för vindavdrift minskar avsevärt för de vinklade fläktarna.



Figur 41. Vätskefördelning för de två sprutalternativen (mätt utan träd). Angivna värden är mätt på koncentrationen hos tvättvätskan och är ett medelvärde över tre upprepningar.



Figur 42. Vätskefördelningen bakom träd. Angivna värden är mätt på koncentrationen hos tvättvätskan och är ett medelvärde över tre upprepningar.

5.6.3 Mätning i träd

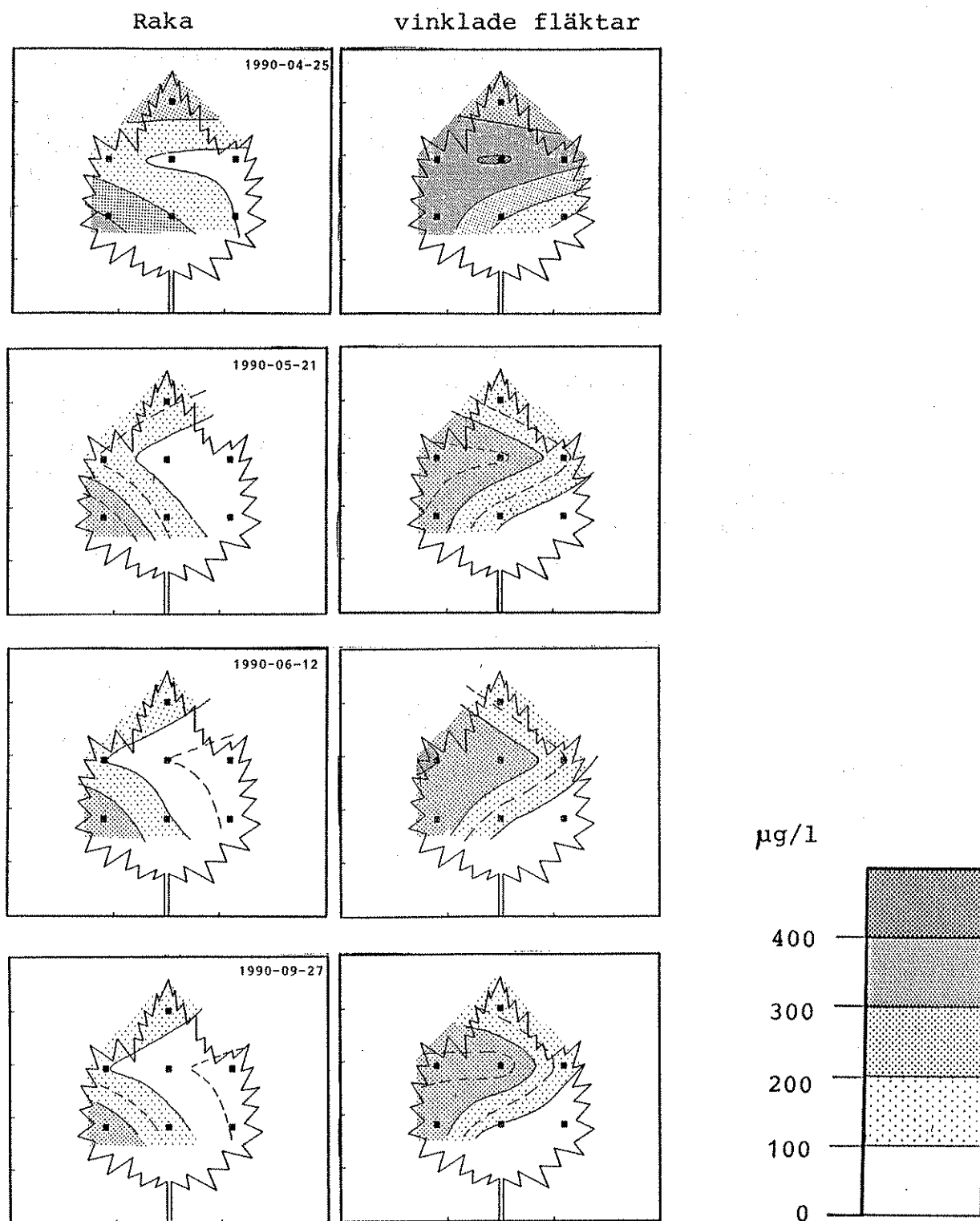
Resultatet av appliceringsmätningarnas huvuddel, mätning i träd, presenteras med hjälp av nivåkurvor och svärtning beroende på appliceringsnivå i figurerna 43 - 45. På grund av få positioner i trädet och deras placering, är det svårt att konstruera exakta nivåkurvor, speciellt i övre delen av trädet, vilket medför en viss osäkerhet när det gäller formen på kurvorna. Kurvornas utgångsform har konstruerats med ett program för rätlinjig interpolering, varefter de har justerats manuellt.

Man ser tydligt skillnaden i applicering mellan de två fläktalternativen. I höjd med skarven mellan fläktenheterna syns en tydlig minskning av appliceringen för de raka fläktarna, medan en tydlig förhöjning syns i samma positioner för de vinklade fläktarna.

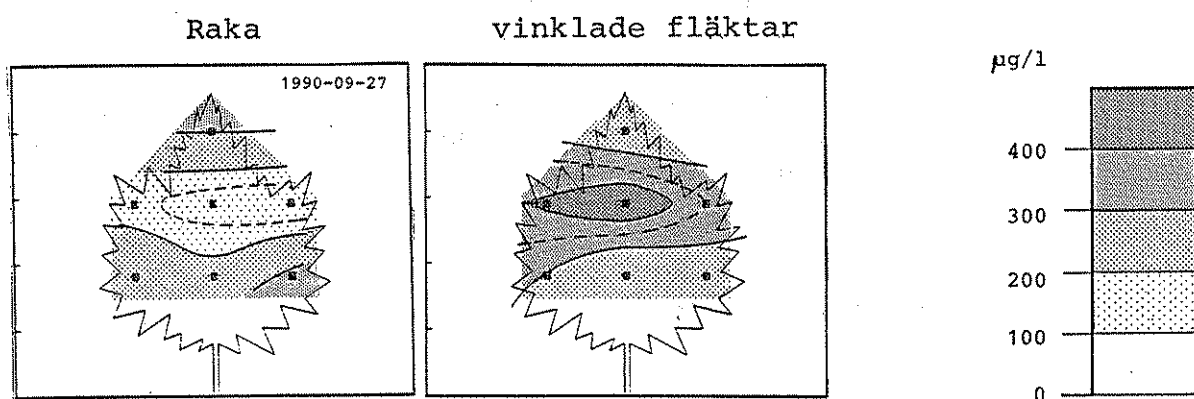
Bladverkets inverkan framgår tydligt i försöksserien 1990-04-25 -- 1990-09-27 (figur 43). Vid den första sprutningen (1990-04-25) var bladverket mycket glest och appliceringsbilden för de vinklade fläktarna har stora likheter med resultatet utan träd. Redan vid nästa sprutning (1990-05-21) hade bladverket utvecklats så pass mycket att en tydlig utjämning kan ses. Man kan för båda behandlingarna notera en förskjutning av appliceringsnivåerna i riktning mot sprutan, som ett resultat av att sprutvätskan har haft svårare att tränga in i det allt tätare bladverket.

Försöket 1990-07-27 med sprutning från båda sidor (figur 44) illustrerar ytterligare skillnaden mellan de två fläktalternativen. De vinklade fläktarna ger ett högt värde i trädets centrala delar. I samma delar ger de raka fläktarna låga värden.

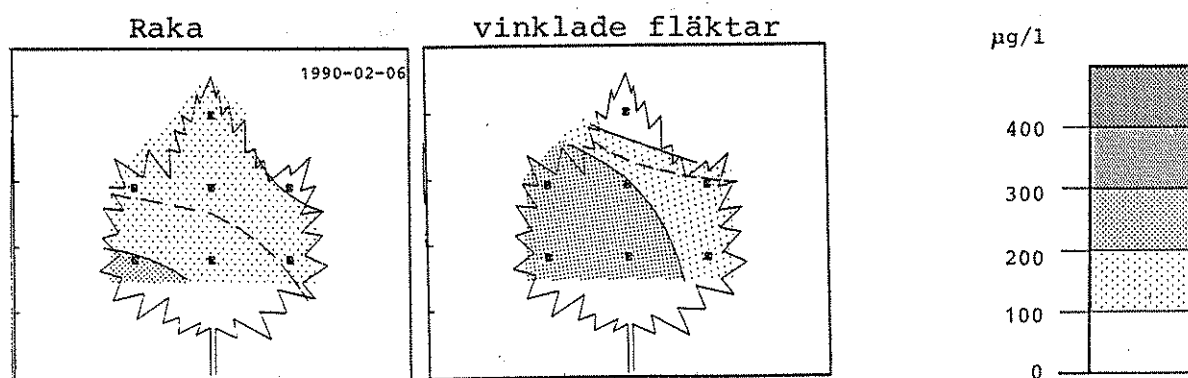
I försöket 1990-02-06 var träden större och objekten var placerade högre och utgjordes av stålstavar. Detta omöjliggör relevanta jämförelser mellan detta och de övriga försökstillfällena. Man kan dock notera att även i detta fall är totalnivån högre för de vinklade fläktarna, trots att den översta punkten i trädets mitt i stort sett har undgått att träffas.



Figur 43. Fördelning av applicering i träd. Sprutning från vänster. Angivna värden är kompenserade så att jämförelser mellan de olika försökstillfällena och behandlingarna kan ske. Värdena anger mått på koncentrationen hos tvättvätskan och är ett medelvärde över träd och upprepningar.



Figur 44. Fördelning av applicering i träd. Sprutning från båda sidor. Angivna värden är kompenserade så att direkta jämförelser kan ske med värdena i figur 43. Värdena anger mått på koncentrationen hos tvättvätskan och är ett medelvärde över träd och upprepningar.



Figur 45. Fördelning av applicering i träd. Stålobjekt, sprutning från vänster. Eftersom förutsättningarna vid detta försök var annorlunda än de övriga, kan endast jämförelser göras mellan behandlingarna inom försöket. Värdena anger mått på koncentrationen hos tvättvätskan och är ett medelvärde över träd och upprepningar.

Insamlade mätvärden har analyserats i flerfaktoriell variansanalys med dataprogrammet NCSS 5.02. Eftersom de olika försöksomgångarna inte har exakt samma uppläggning, har respektive försök analyserats var för sig.

I samtliga fall är behandlingarna (vinklade respektive raka fläktar) signifikant ($P \leq 0.001$) skilda. Faktorn 'tidsblock' har liten inverkan, dvs skillnaden mellan upprepningarna är relativt liten. Signifikant skillnad föreligger för samspelet mellan behandling och position, vilket innebär att behandlingarna ger skilda fördelningar av sprutvätska i

trädet. Vidare måste man ta hänsyn till samspelet mellan träd och position, vilket är ett tecken på att man ej kan bortse från trädens inverkan på appliceringsvärdet i respektive position.

I inledande avsnitt har nämnts att träden valts för att underlätta försökets genomförande. Trädens särskilda egenskaper har därvid inte beaktats, varför resultaten borde vara generaliserbara. Samspelet mellan träd och position antyder dock att bladverkets egenskaper kan ha en viss betydelse, varför denna faktor borde studeras mer i detalj.

Tabell 12. Sammanfattning av resultaten från försöken 1990-04-25 -- 1990-09-27 (appli-
ceringsvärden sammanslagna över tidsblock och träd).

Datum 1990-)	Alt)	Appliceringsvärde [$\mu\text{g/l}$]								
		Position nr (se figur 32)							Medel värde	Medel värde
		1	2	3	4	5	6	7		
04-25 e	R	82	97	258	77	205	135	295	164	229
	V	348	104	235	411	209	382	363	293	
05-21 e	R	38	47	156	64	133	138	290	124	149
	V	170	53	116	263	114	277	233	175	
06-12 e	R	29	37	131	50	107	99	270	103	143
	V	157	49	133	265	116	302	251	182	
09-27 e	R	32	45	123	60	125	103	253	106	137
	V	128	43	117	293	96	256	238	167	
09-27 d	R	99	324	301	116	226	166	275	215	265
	V	353	259	219	467	197	409	298	315	

*) e: en sida sprutad d: två sidor sprutade

**) Alt: behandlingar: R: raka fläktar; V: vinklade fläktar

För att studera skillnaderna mellan de två behandlingarna i respektive position har differenserna mellan appliceringsvärdena för position konstruerats (sammanslaget över försöken 1990-04-25 -- 1990-09-27). Differenserna har testats mot 0 med ett t-test. Position 1, 4 och 6 är skilda på 0.1 %-nivån, position 2 och 3 är skilda på 5 %-nivån, medan det för position 5 och 7 ej föreligger signifikant skillnad.

Sammanfattningsvis framgår att skillnaden mellan behandlingsalternativen är stor och signifikant ($P \leq 0.001$) i positionerna 1, 4 och 6, dvs i den höjd där fläktenheterna möts. I övriga positioner påverkas resultatet endast i mindre grad av behandlingsalternativen.

För att kvantifiera hur jämnt appliceringen har skett i trädet, har dels variationskoefficienten (kvoten mellan standardavvikelse och medelvärde, uttryckt i procent), dels differenser mellan appliceringsvärdena beräknats.

En sammanställning av variationskoefficienterna redovisas i tabell 13. Av denna framgår att variationskoefficienten i samtliga fall (utom 1990-02-06) är större för raka fläktar än för vinklade samt att den ökar med tilltagande täthet i bladverket. Det framgår också, vilket är logiskt, att den blir betydligt lägre när träden sprutas från båda sidor.

Vid försöket 1990-02-06 låg positionen i toppen av trädet (pos nr 3) utanför luftströmmen för de vinklade fläktarna, vilket medförde att appliceringen här blev mycket låg, vilket i sin tur ger en hög variationskoefficient.

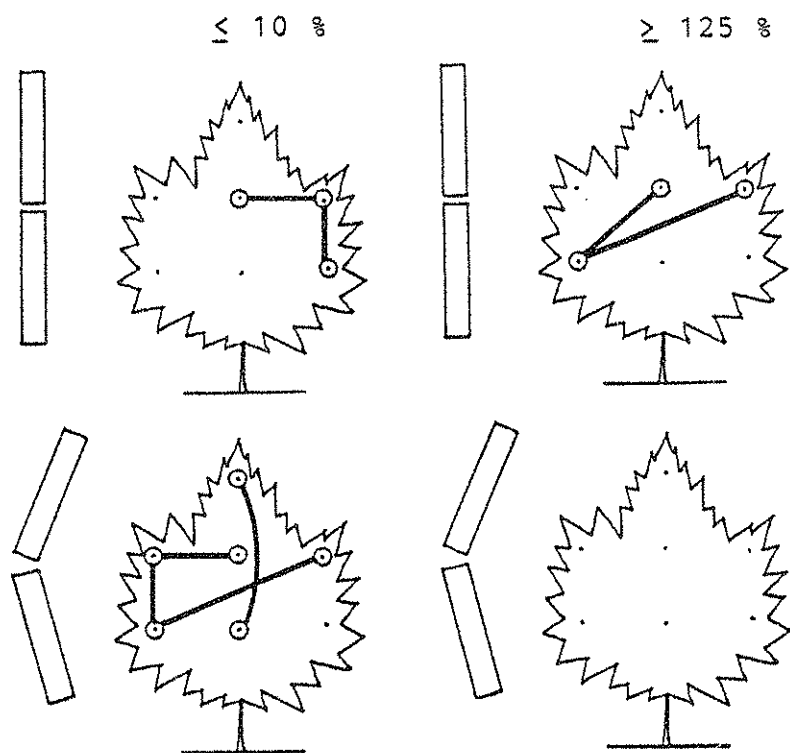
Tabell 13. Sammanställning av medelvärden och variationskoefficienter.

Försöksdatum 1990- *)	Raka fläktar		Vinklade fläktar	
	Appl-värde [µg/l]	Var-koeff [%]	Appl-värde [µg/l]	Var-koeff [%]
02-06 e **)	148	25	178	37
04-25 e	164	54	293	38
05-21 e	124	71	175	49
06-12 e	103	80	182	51
09-27 e	106	71	167	56
09-27 d	215	42	315	32

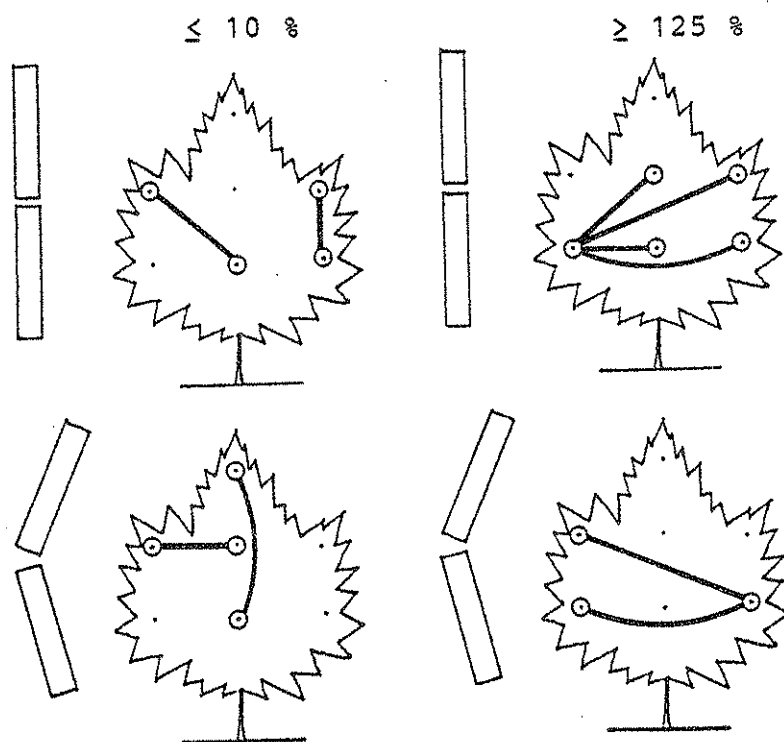
*) e: en sida sprutad d: två sidor sprutade

**) träd, sprutvätskekoncentration, objekt och positioner är i detta fall ej samma som de övriga

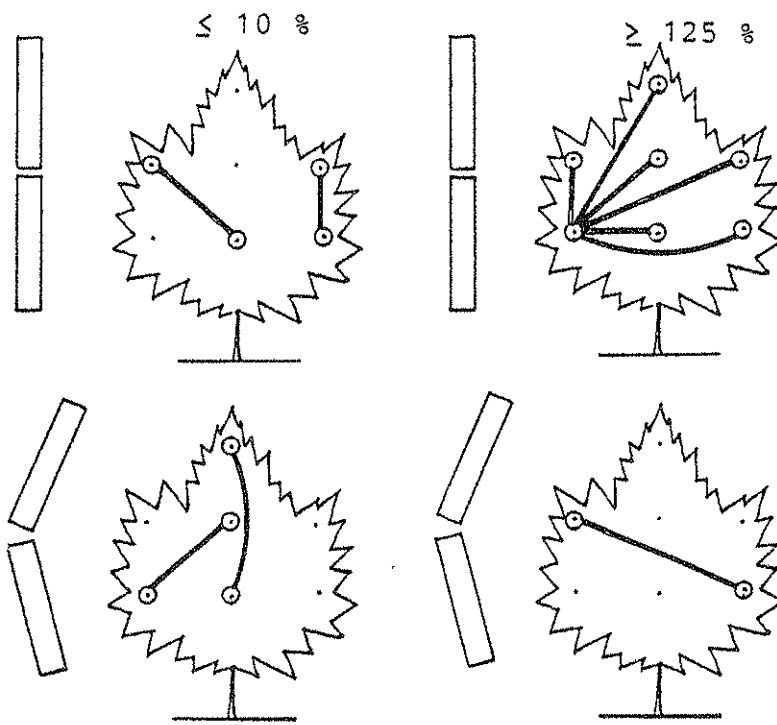
Samtliga differenser (absolutvärden) inom respektive behandling (över samtliga träd och tidsblock) har beräknats. Dessa har sedan relaterats till respektive behandlings appliceringsmedelvärde, eftersom appliceringsnivåerna skiljer mycket. Dessa relativa differenser har delats upp i tre grupper; ≤ 10 % av medelvärdet (små differenser), ≥ 125 % av medelvärdet (stora differenser) samt övriga. De två förstnämnda grupperna (≤ 10 % och ≥ 125 %) har markerats i figurerna 46 - 49. Det framgår att stora differenser förekommer betydligt oftare i fallet med de raka fläktarna, medan små differenser är lika vanliga i de båda fallen.



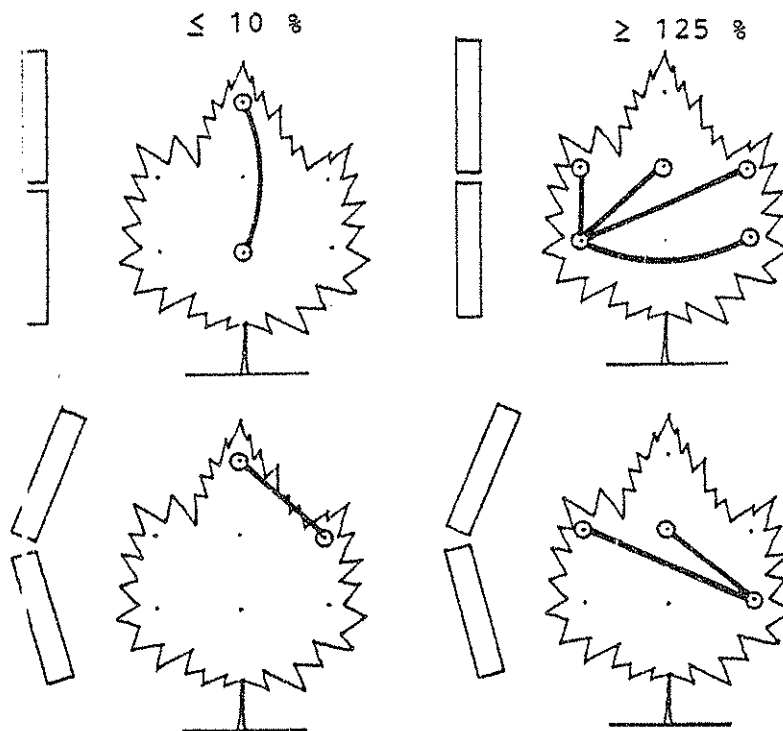
Figur 46. Illustration av differenser mellan positioner i träd. Tidpunkt: 1990-04-25. Par av positioner, där relativa differenser är små respektive stora, har förbundits.



Figur 47. Illustration av differenser mellan positioner i träd. Tidpunkt: 1990-05-21. Par av positioner, där relativa differenser är små respektive stora, har förbundits.



Figur 48. Illustration av differenser mellan positioner i träd. Tidpunkt: 1990-06-12. Par av positioner, där relativa differenser är små respektive stora, har förbundits.



Figur 49. Illustration av differenser mellan positioner i träd. Tidpunkt: 1990-09-27. Par av positioner, där relativa differenser är små respektive stora, har förbundits.

5.6.4 Sammanfattning av appliceringsmätningarnas resultat

Appliceringsvärdena för vinklade fläktar är ca 50 % högre än för raka fläktar, samtidigt som fördelningen är jämnare. Skillnaderna är klart signifikanta. Skillnaden i totalvärde för appliceringen uppstår genom att det föreligger en stor skillnad på den nivå där fläktenheterna möts. Alternativet med de raka fläktarna ger en lägre applicering i denna region, samtidigt som de vinklade fläktarna har sitt maximum här. Inträngningen i bladverket är betydligt djupare för de vinklade fläktarna. Detta kommer även till uttryck i de kompletterande mätningar som har gjorts bakom trädet, där vinklade fläktar förmått en större mängd av sprutvätskan att passera trädet på en lägre nivå, medan sprutvätskan sprids upp i luften med de raka fläktarna.

Bladverkets ändrade egenskaper (med årstiden) medför skillnader i inträngningens form mellan framför allt försöksomgångarna 1990-04-25 och 1990-05-21. Vid första mättillfället syns bladverket inte ha inneburit något större hinder för luftströmmen. Redan vid nästa försökstillfälle medför bladverkets påverkan en utjämning av appliceringsvärdena, som blir bestående under de följande försöken.

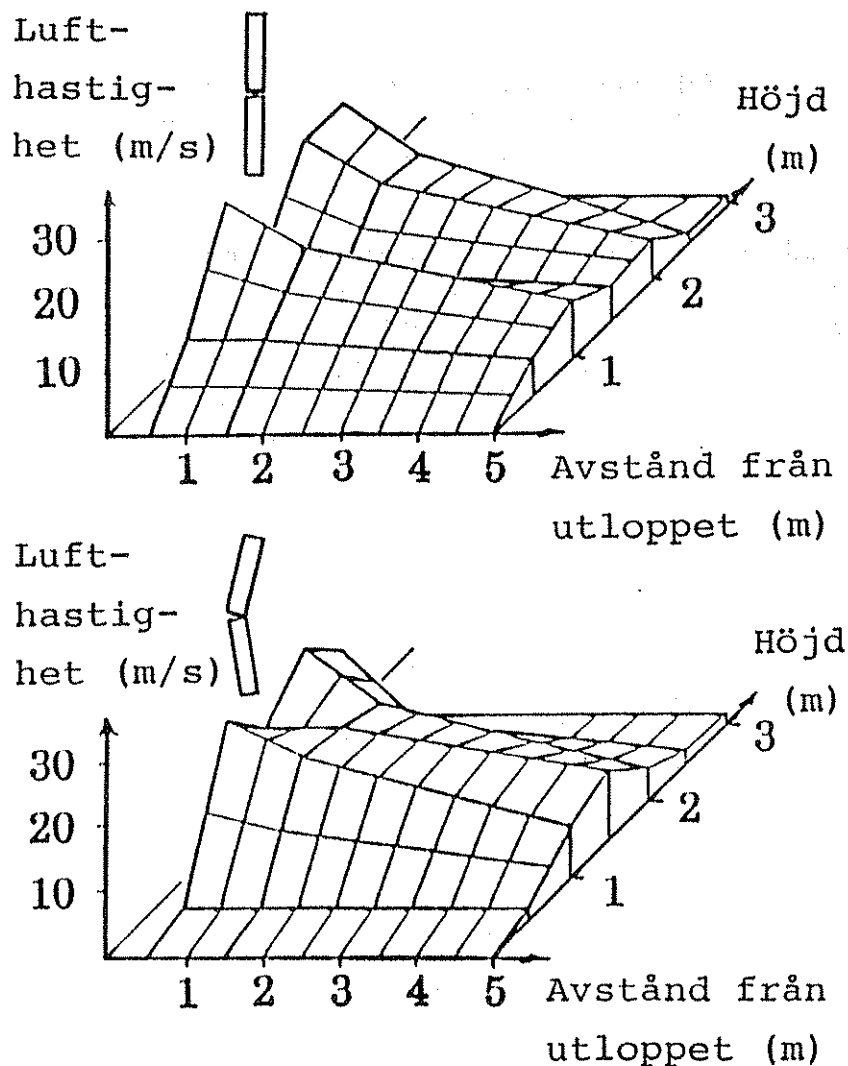
Bladverkets tilltagande täthet yttrar sig också i att inträngningen blir sämre under försöksseriens gång. Den största förändringen syns under de tre första försöken, medan förändringen är liten mellan de två sista. Förändringen påverkas ej av skillnaden mellan behandlingarna.

Appliceringsvärdena (totalt medelvärde över de båda fläktalternativen) är som störst vid det första försökstillfället (1990-04-25). Man bör ha i minnet att de uppmätta värdena är ett uttryck för avsatt sprutvätska per ytenhet för enskilda delar av bladverket. De höga värdena, jämfört med senare under odlingssäsongen, är ett tecken på att det glesa bladverket som helhet samlar upp en mindre del av sprutvätskan, vilket också framgår av den djupa inträngningen. Detta är en parallell till det resultat som föranledde Metz & Moser (1988) att lämna kommentarer om en till synes motsägelsefull verklighet (sidan 13). Att skillnaderna mellan raka och vinklade fläktar är som störst vid detta tillfälle är ett annat uttryck för att bladverket endast i ringa grad påverkar luftströmmarnas karaktär.

5.7 Resultat av lufthastighetsmätningarna

5.7.1 Fläktarnas lufthastighetsfördelning

Lufthastighetsfördelningen från fläktarna har mätts utan inverkan från träd. Resultatet från en mätning i en punkt har visats i figur 40. Ett representativt värde för maxhastigheten erhöles som tidigare genom en lågpasfiltrering. I figur 50 har på den vertikala axeln avsatts den maximala hastigheten från respektive mätpunkt. Man ser här tydligt skillnaden mellan de olika fläktalternativen. De vinklade fläktarna koncentrerar luftströmmen så att den blir mer samlad, får en högre maxhastighet och en mindre utbredning i vertikal led.



Figur 50. Maximal lufthastighet för de båda fläktalternativen som funktion av mät-position. Mätning utan träd, körhastighet 0.3 m/s. Uppställning: jfr figur 39.

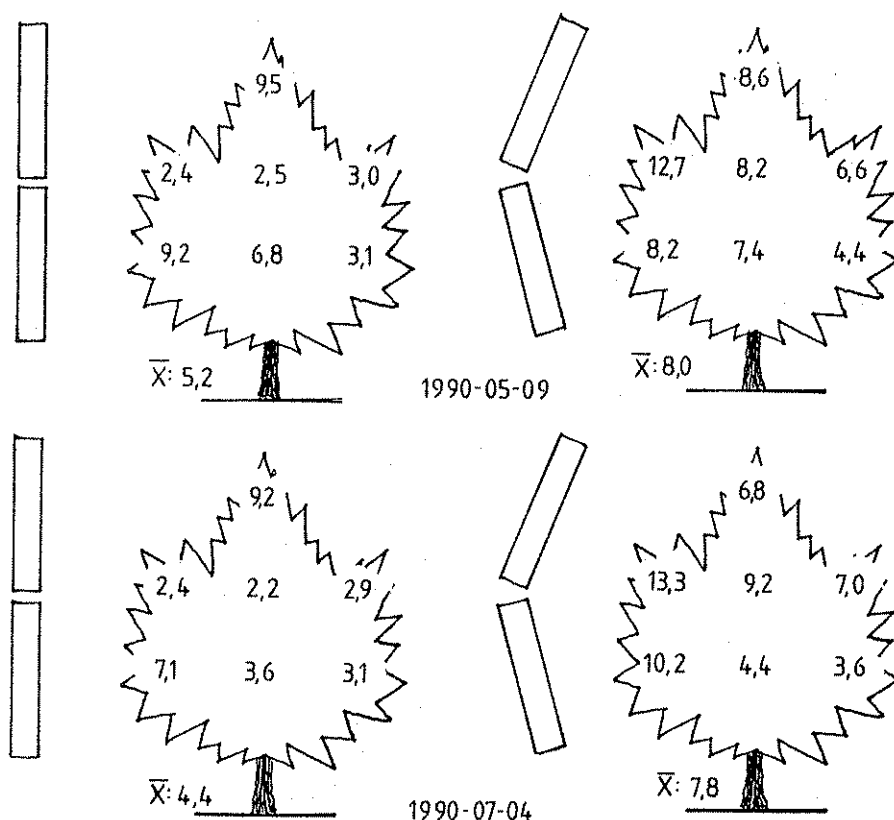
5.7.2 Mätning i träd

Uppläggningsen av mätningen, givartyp och placering har redovisats i avsnittet 5.5.5 Sammanställning av metoder för lufthastighetsmätning. Utvärderingen har ej genomförts lika ingående som appliceringsmätningarna. Här redovisas maximala lufthastigheten som ett medelvärde över 4 träd och 3 upprepningar per fläktalternativ. Maximal lufthastighet är på samma sätt som i föregående avsnitt framtaget genom att rådata har utjämnats med en funktion för flytande medelvärde. Under utvärderingen kunde konstateras stor spridning både mellan träd, positioner och upprepningar. Ingångsvärdena har ej kompenserats för variation i temperatur och lufttryck. Resultatet redovisas i figur 51. Där framgår att

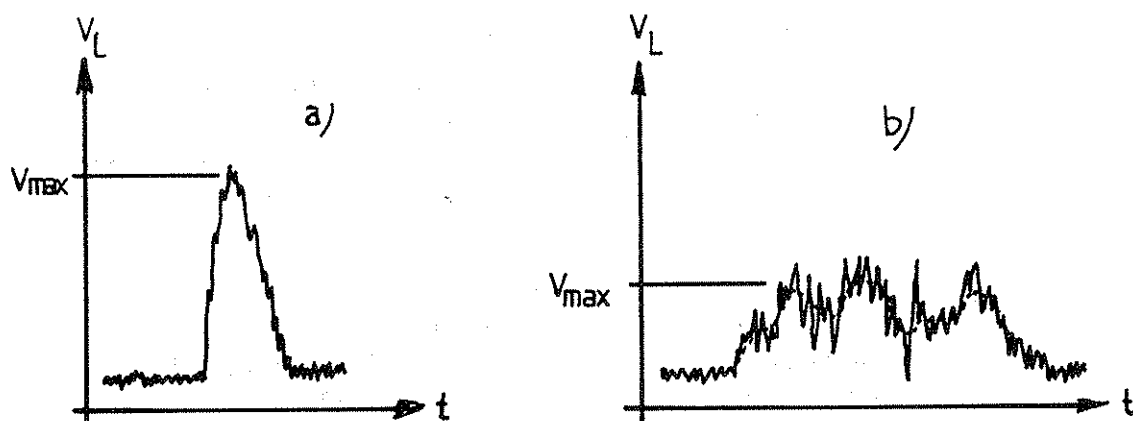
den maximala lufthastigheten blir betydligt högre i trädets mitt för de vinklade fläktarna. Jämför man totalnivåerna (medelvärde över samtliga positioner för respektive fläktalternativ), ser man att de vinklade fläktarna ger en lufthastighet som är ca 1.7 ggr högre än för de raka fläktarna.

Variationskoefficienten gällande fördelningen i trädets mitt för de raka fläktarna är ca 60 % för de raka fläktarna och ca 40 % för de vinklade fläktarna, dvs de vinklade fläktarna medför en jämnare fördelning av den maximala hastigheten i trädets mitt. Några ytterligare statistiska beräkningar har ej gjorts.

Man kunde förvänta sig att skillnaden i lufthastighet skulle vara större mellan de två mättillfällena, med tanke på de stora skillnader i avsättning som förekom under början av odlingssäsongen. Bladverket var 1990-05-09 fortfarande mycket glest. Vid studier av de insamlade värdena har konstaterats kurvutseenden med stora amplitudvariationer, vilket medför ett lägre värde på maxhastigheten, samtidigt som påverkan har skett under en länge tid (se figur 52). Detta kan tyda på att enbart maxhastigheten inte är tillräcklig som resultatparameter för lufthastighet.



Figur 51. Resultat av lufthastighetsmätningar i träd. De redovisade värdena är maximal lufthastighet (angivna i m/s) i de olika positionerna.



Figur 52. Exempel på registerade lufthastigheter (V_L) som funktion av tiden (t).

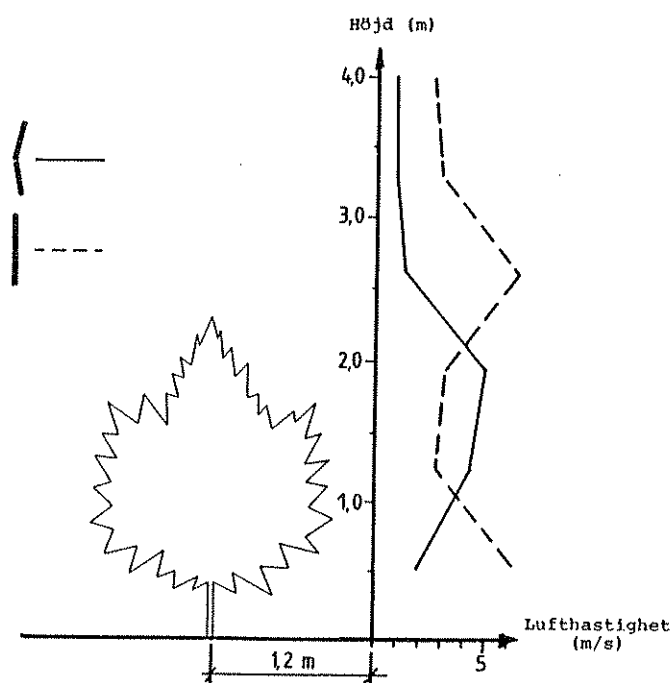
V_{\max} = representativt värde för maximal lufthastighet

a) Kurva med en stark och koncentrerad luftpuls

b) Kurva med en svagare, mer utdragen luftpuls, med stora variationer under tiden som luftströmmen påverkar

5.7.3 Mätning bakom träd

Lufthastigheten bakom trädet mättes i samma positioner som appliceringen. Endast en orienterande mätning har utförts vid ett tillfälle och vid ett träd. Resultatet visas i figur 53. På grund av det ringa antalet mätdata bör resultatet bedömas med försiktighet, dock syns tydligt luftens passage över trädet för de raka fläktarna, medan de vinklade fläktarna har sitt lufthastighetsmaximum bakom trädets bredaste del.



Figur 53. Lufthastighetens största värde under en passage vid olika höjder vid mätning bakom träd.

5.7.4 Sammanfattning av lufthastighetsmätningarnas resultat

Lufthastighetsmätningarna visar att fläktarnas inriktning har stor inverkan på den erhållna hastighetsfördelningen. De vinklade fläktarna ger en koncentrerad av luftströmmen som tydligt ökar lufthastigheten i höjd med vinkelns spets, men som samtidigt även begränsar utbredningen i höjdd. Genom koncentreringsen ökar också luftströmmens räckvidd.

Trots att insamlade lufthastighetsdata för mätningar i trädet ej har analyserats fullständigt, framgår det att den maximala lufthastigheten i trädet blir betydligt högre för de vinklade fläktarna. Däremot är skillnaden i hastighetsnivå mellan två mättillfällen med olika täthet på bladverket liten. Bättre underlag för bedömningen bör erhållas vid en fullständig analys av lufthastighetens olika komponenter som föreslås i avsnittet 5.5 Metod för lufthastighetsmätning.

Lufthastighetens fördelning i höjdd bakom trädet visar att luftströmmen från de raka fläktarna till viss del styrs över trädet.

6 Diskussion

Resultatet av appliceringsmätningarna visar en ca 50 % högre totalavsättning och en jämnare fördelad avsättning i trädet, när man använder de vinklade fläktarna, jämfört med de raka fläktarna. Skillnaderna är entydiga och högst signifikanta. Mätningarna bakom träden visar att för vinklade fläktar återfinnes förlusterna i form av vindavdrift på en höjd som ligger under trädtoppsnivån. Resultatet innebär för den praktiska tillämpningen att det finns goda möjligheter att reducera preparatmängden vid användning av konvergerande luftströmmar. Samtidigt visar mätningen av förlusternas utbredning i höjddet att möjligheterna att reducera vindavdriften har förbättrats.

Resultatet innebär vidare att den första hypotesen kan accepteras (*"Om man låter två luftströmmar konvergera mot trädradens centrum eller just bakom, blir appliceringen bättre än om fläktarnas utlopp riktas så att luftströmmarna är parallella"*).

Även om analysen av lufthastighetsmätningarna ej är helt slutförda, tyder resultatet hittills också på att den andra hypotesen borde kunna accepteras (*"Om man låter två luftströmmar konvergera mot trädradens centrum eller just bakom, blir lufthastigheten i olika punkter av trädet annorlunda än om fläktarnas utlopp riktas så att luftströmmarna är parallella, speciellt så att lufthastigheten i den borte delen av trädet blir högre för de konvergerande luftströmmarna"*). En invändning är att lufthastigheten ej synes höjas specifikt i trädets borte delar, utan hastighetsnivån höjs i hela trädet.

Trots att det i litteraturen redovisas en rad forskningsresultat om luftströmmars uppträdande för olika fläktar och träd, har arbetet avslöjat kunskapsfält som är svagt belysta. Detta gäller speciellt hur lufthastighetens olika komponenter inverkar på inträngning och avsättning i bladverket.

6.1 Den praktiska tillämpningen

Resultatet är av sådan natur, att det kan omsättas direkt i praktiken, men för att bättre kunna utnyttja det, bör något nämnas om möjligheterna att frångå de ursprungliga förutsättningarna.

Fruktträdens årstidsvariation har täckts in ganska väl i försöken. Med tanke på den goda inträngningen i bladverket före bladutvecklingen (fram till stadiet 'omedelbart efter blom') bör lufthastigheten kunna minskas eller fläktutloppen vridas bakåt i enlighet med vad som redovisats av von Oheimb (1986)(se figur 15). Ytterligare försök fordras för att få data på de exakta ändringar som bör göras.

Om sprutning sker på högre träd än vad som använts i experimenten erhålles ej korrekt applicering med vinklade fläktar och det torde vara svårt att med bibehållen effekt behandla sådana träd. Detta gäller för fläktar med samma mått som använts i försöken. Med längre fläktenheter eller fler fläktar finns goda möjligheter att behandla större träd. För lägre träd måste fläktarnas vinkel anpassas, så att fläktarna siktar på en punkt i höjd med trädets tätaste (bredaste) del. Val av spridare och placering måste även anpassas till trädens egenskaper.

Som nämnts är vätskefördelningen som erhålls med de vinklade fläktarna fortfarande ojämn. Studerar man fördelningsfigurerna (figur 43 och 44), är det logiskt att en jämnare fördelning skulle erhållas om vinkeln för den nedre fläktenheten minskades. Detta skulle eventuellt kunna ske i kombination med en förändring av spridarbestyckningen, så att ansamlingen av vätska minskades något på den höjd där fläktenheterna möts.

Som framgått av tidigare avsnitt om droppstorlek, är detta ett område där klara och underbyggda fakta förekommer sparsamt, men såväl med tanke på faran för vindavdrift som möjligheterna att hålla dropparna under kontroll, bör en strävan vara att undvika små droppar.

6.2 Teoridiskussion

Skillnaden mellan fläktalternativen uppstår framför allt genom att de vinklade fläktarna medför att avsättningen av vätska blir betydligt större på den höjd där fläktenheterna möts samt att de orsakar en starkare inträngning i denna del av trädet.

På samma sätt ser man en tendens till liknande fördelning när det gäller den maximala lufthastigheten i trädet. Luftströmmens riktning och fördelning i fallet med de raka fläktarna samverkar med trädet på ett negativt sätt, så att vätske- och lufthastighetsfördelningen försämras. Trädet kommer att fungera som en kropp i luftströmmen och styra undan en del av luftströmmen. I det vinklade fallet är angreppsvinkeln mer gynnsam och inträngningen är betydligt kraftigare i trädet, vilket också resulterar i en högre lufthastighet i trädet.

Däremot går det inte att tolka resultatet på det sätt att det enbart är den ökade lufthastigheten från de vinklade fläktarna som leder till den ökade avsättningen. Sprutornas vätskefördelning, mätt just innan droppduschen når trädet, skiljer nämligen alltför mycket mellan fläktalternativen.

Detta leder till en tänkbar alternativ hypotes: *"En vätskefördelning med sitt maximum i höjd med trädets tätaste delar medför en bättre applicering än om man har en vätskefördelning med konstant värde över hela höjden, oberoende av luftströmmarnas riktning"*. Detta anknyter till Kümmels (1988, 1990) arbete. Med hjälp av olika spridarstorlekar och -placeringar anpassas vätskefördelningen till bladverkets täthet och djup, vilket medför jämnare applicering i trädet, trots att de använda luftströmmarna är divergenta.

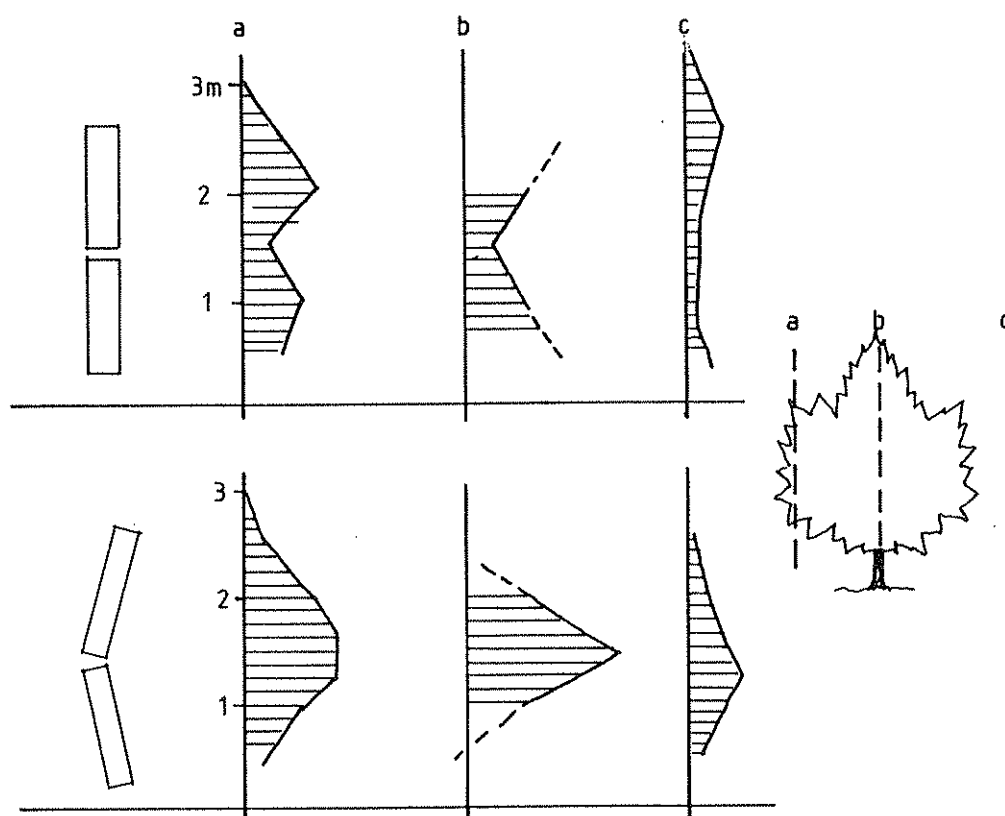
Det som motsäger denna hypotes och understryker luftströmmens inverkan är främst vätskan spridning i höjdlid. I figur 51 visas en principiell sammanställning av vätskefördelningen i olika snitt. Trots att den översta spridaren sitter på höjden 2.3 m i alternativet med de raka fläktarna, sprids vätskan upp till 3 metersnivån vid mätning utan träd och ännu något högre vid mätningen bakom träd. För vinklade fläktar sitter den översta spridaren på höjden 2.6 m. Genom luftströmmens riktning blir spridningen över 2.5 metersnivån minimal, både vid mätning utan träd och bakom träd.

Den dåliga inträngning, som erhålles med de raka fläktarna, talar också emot hypotesen. Även om vätskefördelningen för de raka fläktarna har ett minimum på den höjd där fläk-

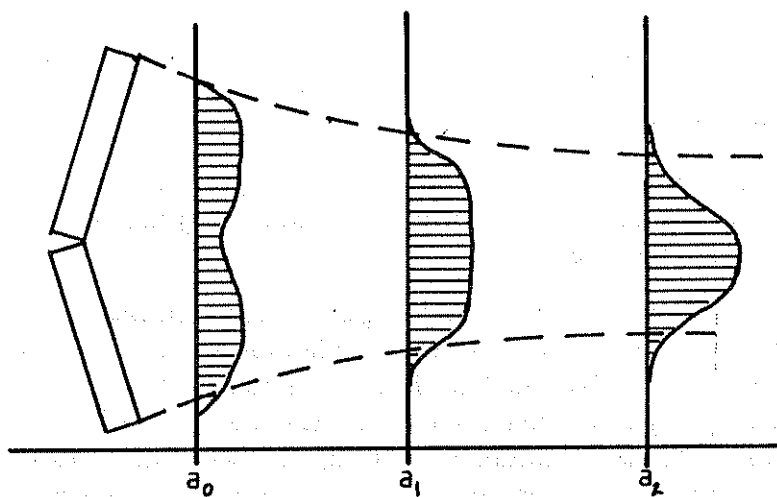
tenheterna möts, förstärks detta av trädets inverkan. Vid mätning utan träd, figur 41, utjämnas vätskefördelningen när duschen når ett avstånd som motsvarar trädets mitt. I bladverket styrs den delvis uppåt och nedåt av luftströmmens riktning och hastighet.

Slutsatsen är att både luftströmmens utformning och vätskefördelningen har stor inverkan på avsättningen, även om man med ledning av de erhållna resultaten ej helt kan separera de båda faktorernas specifika inverkan.

Den logiska fortsättningen är att upprepa avsättningsmätningarna, men med vätskefördelningen identisk, t ex med ett konstant värde över hela höjden för de båda fläktprinciperna. Det inställer sig emellertid ett problem med de vinklade fläktarna. Trots att man på ett visst avstånd från utloppet, a_1 i figur 55, skapar en konstant vätskefördelning, kommer man med stor sannolikhet inte att ha samma fördelning på avstånden a_0 resp a_2 , eftersom vätskedropparna följer luftströmmen och det är känt att tvärsnittet minskar för vinklade fläktar. För raka fläktar torde en bestående jämn fördelning vara lättare att skapa.



Figur 54. Principiell vätskefördelning i höjdd. a) utgångsläge, just innan duschen når fram till trädets b) i trädets mitt c) bakom trädets.



Figur 55. Troligt utseende på vätskefördelningen på olika avstånd från utloppet, som ett resultat av luftströmmens konvergerande inverkan. Vinklade fläktar.

7 Forskningsperspektiv

I det redovisade arbetet har en djupare analys av lufthastighetsmätningarna påbörjats. Detta arbete måste avslutas, för att inverkan av lufthastighetens olika komponenter skall kunna bedömas. Vidare har nämnts en komplettering av de gjorda appliceringsmätningarna med en vätskefördelning som så långt det är möjligt är lika för de båda fläktalternativen.

För att arbetets resultat skall kunna tillämpas i praktisk odling med optimal inställning på de tekniska sprutparametrarna, fordras ytterligare försök. Det gäller framför allt att utreda inverkan av fläktarnas vinklar (både i horisontal- och vertikalled) vid olika skeden i trädens utveckling. I de gjorda experimenten har fläktarnas varvtal hållits konstant. Detta kan anpassas till bladverkets utveckling. Vidare är det viktigt att få uttryck för lufthastighetens inverkan.

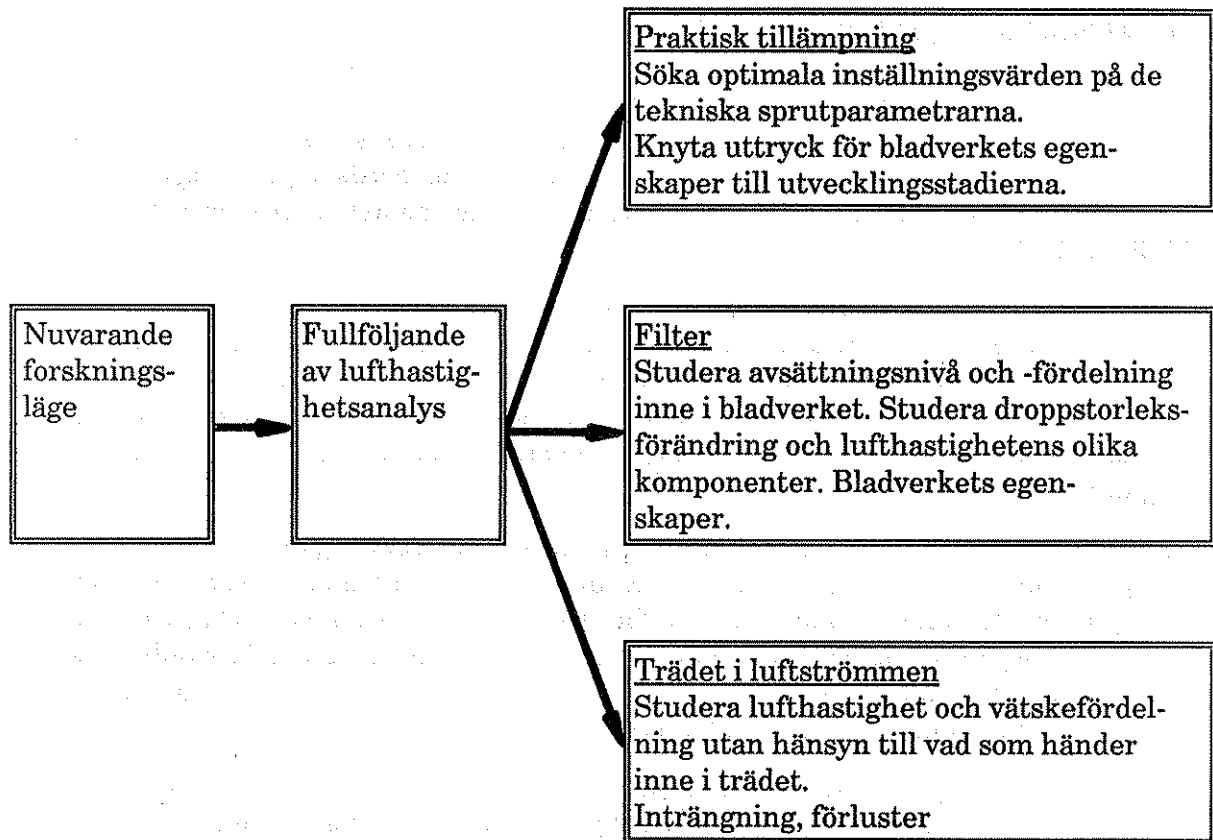
De biologiska utvecklingsstadierna har hittills ofta använts som utgångspunkt för bekämpningsinsatserna. En biologisk aspekt som är av stort intresse för spruttekniken, är möjligheten att finna relevanta uttryck för bladverkets täthet (t ex LAI) och koppla dem dels till de gängse biologiska stadiebeteckningar för tillväxt, dels till inställningsvärden för de tekniska sprutparametrarna. Därigenom skulle det bli lättare för odlaren att optimera bekämpningen efter bladverkets egenskaper.

I rapporten har i tidigare avsnitt presenterats teorimodeller, där bladverket ges filteregenskaper och trädet uppträder som en kropp eller hinder i luftströmmen. För att precisera filtermodellen och utveckla den från att vara en tanke eller ett identifierbart fenomen till en beräkningsbar modell krävs ytterligare kunskap. Detta gäller framför allt uppsamlingseffektivitet som funktion av droppstorleksfördelning, lufthastighetsfördelning och bladverkets egenskaper. Framför allt droppstorleksförändringen kräver ytterligare forskning i form av mer grundläggande studier. Härmed avses studier av droppstorleksfördelningen på olika punkter i trädet, för olika ursprunglig fördelning, lufthastighet och bladverksegenskaper.

Det har framgått att trädet som helhet inverkar på luftströmmen. För att skapa en beräkningsbar modell krävs studier av lufthastigheter, -riktningar och vätskefördelning i olika punkter runt trädet, vid olika utvecklingsstadier och form på trädet samt olika geometri och egenskaper hos luftströmmen. Studier av denna aspekt har också stor betydelse för att kunna bedöma risk för vindavdrift och andra förluster.

De två senare aspekterna, filtreringen och trädet i luftströmmen, är intimt knutna till varandra, eftersom de delvis ger varandras modellförutsättningar. Så är t ex inträngningen i trädet startvärden för filtreringen och "läckaget" ut ur trädet förutsättningar för beräkning av förlusterna.

I figur 56 visas schematiskt arbetets fortsättning.



Figur 56. Schematisk beskrivning av fortsatt forskning inom problemområdet.

Fortfarande kvarstår frågor, som ur det näraliggande praktiska perspektivet handlar om dels att optimera tekniska parametrar, grundat på dagens resultat, dels att anpassa sprutförfarandet till bladverkets egenskaper och dess förändring med årstiden.

I ett längre perspektiv är frågorna flera. Trots att avsättningens principiella mekanismer är kända i detalj, är det först genom en ökad förståelse av dess förutsättningar och samverkan i större skala, uttryckta som samband mellan bladverk, luftström och droppar, som appliceringen blir analyserbar eller går att simulera.

Genom kunskap om de bakomliggande orsakssammanhangen erhålls förutsättningar att föreslå bättre och effektivare praktiska lösningar som kan uppfylla kraven på en korrekt placering av preparatet.

En sådan djupare och mer generell kunskap ökar möjligheterna att utvidga tillämpningsområdet, inte bara till andra typer av fruktträd, utan till andra typer av kulturer och bekämpningssituationer, t ex bärodling, vinodling och vissa typer av köksväxter, där svår-genomträngliga och täta bladverk förekommer.

8 Litteraturreferenser

- Allen, J.G., Butt, J.B., Dicker, G.H.L. & Hunter, L.D. 1978. A comparison of the efficiency of sprays of two drop-size ranges in an apple orchard. *Pesticide Science*, vol 9, s 545 - 554.
- Bordovsky, J.P. & Lyle, W.M. 1985. Quantitative spray deposition analysis using a lithium salt. ASAE-Paper nr 85-1510.
- Brazee, R.D. & Fox, R.D. 1973. Analyzing atmospheric turbulence in plant canopies. *Agricultural Science Review*, First Quarter 1973, s 7 - 23.
- Brazee, R.D., Fox, R.D., Reichard, D.L. & Hall, F.R. 1981. Turbulent jet theory applied to air sprayers. *Transactions of the ASAE* vol 24 (2), s 266 - 272.
- Brazee, R.D., Fox, R.D. & Reichard, D.L. 1989. Personlig kommunikation.
- Bukovac, M.J., Reichard, D.L. & Whitmoyer, R.E. 1986. The spray application process: central for the efficient use of growth regulators in tree fruits. *Acta Horticulturae* 1979. s 33 - 45.
- Byass, J.B. 1965. The initial deposition of spray on apple leaves. 3rd British Conference on Insecticides and Fungicides, s 368 - 374.
- Byass, J.B. 1969. Equipment and methods for orchard spray application research: The measurement of spray deposits on leaves using light from fluorochromes on the surface. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol 14 (1), s 78 - 88.
- Bäcker, G. 1984. Pflanzenschutztechnik im Weinbau. KTBL-Schrift 295. Darmstadt: KTBL.
- Bäcker, G. 1986. Tangentialgebläse zur Pflanzenschutzmittelapplikation im Weinbau. *Grundlagen der Landtechnik*, vol 36 (6), s 162 - 168.
- Cayley, G.R., Griffiths, D.C., Hulme, P.J., Lewthwaite, R.J. & Pye, B.J. 1987. Tracer technique for the comparison of sprayer performance. *Crop Protection*, Vol 6 (2), s 123 - 129.
- Didio, J.R., ?. Measurement techniques. Intern rapport, utarbetad av Ciba-Geigy.
- Doruchowski, G. & Svensson, S.A. 1989. Methods to analyze spray application in apple trees. Final report from the research exchange between Poland and Sweden. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst f lantbruksteknik, Institutionsmeddelande nr 90:02.
- Dullien, F.A.L. 1989. Introduction to industrial gas cleaning. Academic Press Inc, San Diego, s 97 - 121.
- van Ee, G.R., Ledebuhr, R.L. & Potter, H.S. 1984. Development of a CDA/air carrier sprayer. ASAE-Paper nr 84-1507.
- van Ee, G.R. & Ledebuhr, R.L. 1988. Performance evaluation of the "Air-Curtain" orchard spraying concept. Paper nr 88.043, presenterat på AG ENG 88, Paris.
- van Ee, G.R. & Ledebuhr, R.L. 1989. Personlig kommunikation.

- Fleckinger, J. 1948. Les stades végétatifs des arbres fruitiers, en rapport avec les traitements. *Pomologie Française*, Supplement, s 81 - 93 (citerad i Kolbe, 1979)
- Fleming, G.A. 1962. The relationship of air volume, air velocity and droplet size to the efficiency of spray transport in air blast spraying. Cornell University, Ph.D. Thesis (citerad i Fox et al 1982).
- Fox, R.D., Brazee, R.D. & Hall, F.R. 1982. Power in a air sprayer jet. *Transactions of the ASAE*, vol 25 (5), s 1181 - 1184.
- Fox, R.D., Reichard, D.L. & Brazee, R.D. 1982. A model study of the effect of wind on air-sprayer jets. *ASAE-paper* 82-1012.
- Fox, R.D., Reichard, D.L., Brazee, R.D. & Hall, F.R. 1984. Penetration of an apple tree canopy by orchard-sprayer air jets. *Ohio Agricultural Research and Development Center, Research Circular* 283, s 22 - 25.
- Furness, G.O. & Pinczewski, W.V. 1985. A comparison of the spray distribution obtained from sprayers with converging and diverging airjets with low volume air assisted spraying on citrus and grapewines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol 32, s 291 - 310.
- Ganzelmeier, H. 1984. Möglichkeiten und Grenzen der Pflanzenschutzgerätetechnik im Obstbau. *Obstbau* vol 9 (1), s 11 - 15.
- Göhlich, H. 1983. Assessment of spray drift in sloping vineyards. *Crop Protection*, vol 2 (1), s 37 - 49.
- Göhlich, H., Hosseinipour, M. & von Oheimb, R. 1979. Einfluss klimatischer und geräte-technischer Faktoren auf die Drift im Pflanzenschutz. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.*, vol 31 (1), s 1 - 9.
- Hale, F.R. 1978. Performance of air jets in relation to orchard sprayers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol 23, s 1 - 16.
- Hale, O.D., Sharp, R.B. & Byass, J.B. 1976. Design of a sprayer for hedgerow apple orchards. *The Agricultural Engineer*, spring 1976.
- Hall, F.R., Forsythe Jr, H.Y., Jones B.M., Reichard, D.L. & Fox, R.D. 1975 a. Comparison of orchard sprayers for insect and disease control on apples, 1966 - 1969. *Ohio Agricultural Research and Development Center, Research Bulletin* 1078.
- Hall, F.R., Reichard, D.L. & Kreuger, H.R. 1975 b. Dislodgeable azinphosmethyl residues from air blast spraying of apple foliage in Ohio. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol 3, s 352 - 363.
- Hinze, J.O. 1959. *Turbulence*. McGraw-Hill Book Co, New York, 586 s (citerad i Brazee & Fox, 1973).
- Hosseinipour, M. 1978. Behavior of single drops and sprays in different climatic conditions in a climat tower. *Symposium on Controlled Droplet Application*, April 1978. BCPC Monograph no 22.

- Keller, E. & Henauer, U. 1987. Anordnung der Düsen bei Gebläsespritzen. Schweiz. Zeitschrift für Obst- und Weinbau, vol 123, s 150 - 157.
- Koch, H. & Spieles, M. 1990. Dosierung von Pflanzenschutzmitteln im Obstbau unter Berücksichtigung der Erziehungsform. Erwerbsobstbau vol 32 (5), s 141 - 147.
- Kolbe, W. 1979. Jahreszeitlicher Verlauf der Entwicklungsstadien bei Obstarten in Beziehung zu Jahreswitterung und Pflanzenschutzmassnahmen. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, vol 32 (1), s 98 - 163.
- Kümmel, K. 1988. Personlig information.
- Kümmel, K. 1990. Zielgerichteter Pflanzenschutz in Raumkulturen mit kulturangepassten Sprügeräteeinstellungen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem. Heft 266. s 430.
- Little, P. 1979. Particle capture by natural surfaces. Application of pesticides from ground based sources. Cranfield Institute of Technology, College of Aeronautics, Short course 16 - 27 July 1979. Vol. 1.
- Locher, B. & Moser, E. 1981. Pflanzenschutz im Hopfenbau - Wodurch werden Durchströmung und Abdrift beeinflusst? Landtechnik vol 36 (10), s 467 - 472.
- Lüders, W. & Ganzelmeier, H. 1982. Die Ausbreitung einer Gebläseluftströmung inner- und ausserhalb eines Hopfenbestands. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., vol 34 (3), s 33 - 42.
- Matthews, G.A. 1989. Electrostatic spraying of pesticides: a review. Crop Protection, vol 8 (1), s 3 - 15.
- May, K.R. & Clifford, R. 1967. The impaction of aerosol particles on cylinders, spheres, ribbons and discs. Ann. Occup. Hyg. 10, s 83 - 95.
- Metz, N. 1986. Anlagerung und Abdrift elektrostatisch geladener Flüssigkeitsteilchen beim chemischen Pflanzenschutz im Obstbau. Dissertation, Universität Hohenheim. Forschungsbericht der Max-Eyth-Gesellschaft nr 130
- Metz, N. & Moser, E. 1987. Bessere Anlagerung - Geringere Abdrift, Möglichkeiten der Pflanzenschutztechnik im Obstbau. Landtechnik, vol 42 (3), s 104 - 106.
- Metz, N. & Moser, E. 1988. Einfluss der Obstbaumkultur auf Anlagerung und Abdrift von Pflanzenschutzmitteln. Erwerbsobstbau, vol 30 (1), s 16 - 20.
- Morgan, N.G. 1981. Minimizing pesticide waste in orchard spraying. Outlook on Agriculture, vol 10 (7), s 342 - 344.
- Moser, E. 1985. Neue Applikationstechniken in Raumkulturen. Grundl. Landtechnik, vol 35 (1), s 25 - 30.
- Nordby, A. 1975. Fordeling og avsetning av plantevernmidler - Föreläsningsutkast.
- Nordby, A. 1979. Utredning og undersøkelser med plantevernutstyr - Nordisk prosjekt. Landbruksteknisk Institutt, Stenciltrykk Serie A, Nr 599. s 153 - 172

- von Oheimb, R. 1979. Erhöhte Wirkstoffanlagerung im Weinbau durch verbesserte Strömungstechnik bei Sprühgeräten. *Landtechnik*, vol 34 (7/8), s 330 -332.
- von Oheimb, R. 1986. Luftführung und Anlagerung von Pflanzenschutzmitteln im Wein- und Obstbau. Dissertation, Technische Universität Berlin, Forschungsbericht der Max-Eyth-Gesellschaft nr 131
- Quinn, J. & Farsaie, A. 1985. Evaluation of the effectiveness of pesticide application equipment. *ASAE-paper* nr 85-1002.
- Randall, J.M. 1971. The relationships between air volume and pressure on spray distribution in fruit trees. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol 16 (1), s 1 - 31.
- Redalen, G. 1990. Personlig kommunikation.
- Reichard, D.L., Fox, R.D., Brazee, R.D. & Hall, F.R. 1979. Air velocities delivered by orchard air sprayers. *Transactions of the ASAE*, vol 22 (1), s 69 - 74, 80.
- Rosswag, U. 1985. Ausbreitung, Durchdringung und Anlagerung einer Zwei-Phasen-Strömung bei der Applikation in Raumkulturen. Dissertation. Forschungsbericht der Max-Eyth-Gesellschaft nr 112.
- Salyani, M. & Whitney, J.D. 1988. Evaluation of methodologies for field studies of spray deposition. *Transactions of the ASAE*, vol 31 (2), s 390 - 395.
- Sharp, R.B. 1974. Spray deposit measurement by fluorescence. *Pesticide Science*, vol 5, 197 - 209.
- Smith, D., Plummer, D., Harris, F. & Picket, E. 1983. Recovery of fluorescent tracer dyes. *Transactions of the ASAE*, vol 26 (5), s 1308 - 1311.
- Spillman, J.J. 1979. The aerodynamics of droplet capture. application of pesticides from ground based sources. Cranfield Institute of Technology, College of Aeronautics, Short course 16 - 27 July 1979. Vol. 1.
- Strauss, W. 1975. *Industrial Gas Cleaning* (2. ed.). Pergamon Press, Oxford. s 277 - 313.
- Svensson, S.A. 1988. Studier av interaktion mellan luftström och bladverk vid besprutning av fruktträd. Ej publicerat material.
- Thornhill, E.W. 1982. A summary of methods for testing pesticide application equipment. *Tropical Pests Management* vol 28 (4), s 335 - 346.
- Threadgill, E.D. & Smith, D.B. 1975. Effects of physical and meteorological parameters on the drift of controlled-size droplets. *Transactions of the ASAE*, vol 18 (1), s 51 - 56.
- Trulsson, C. 1991. Personlig kommunikation.
- Uk, S. 1979. Particle capture and droplet size. Application of pesticides from ground based sources. Cranfield Institute of Technology, College of Aeronautics, Short course 16 - 27 July 1979. Vol. 1.

Walker, O.A. 1979. Retention von Spritzflüssigkeiten bei Kräutern in Beziehung zu ihrer Blattmorphologie. Dissertation, Hohenheim. (citerad i Metz, 1986).

Whitney, R.W. & Roth, L.O. 1985. String collector for spray pattern analysis. ASAE-Paper nr 85-1005.

Wehrli, W. 1988. Personlig kommunikation.

Yates, W.E., Cowden, R.E. & Akesson, N.B. 1985. Drop size spectra from nozzles in high-speed airstreams. Transactions of the ASAE, vol 28 (2), s 405 - 410, 414.